FACULTE DE MEDECINE
PITIE-SALPETRIERE
UNIVERSITE PARIS VI

No 201

ANNEE
1975

THESE

N°

POUR LE

DOCTORAT EN MEDECINE

(Diplôme d'Etat)

PAR

Catherine WEIL-LEVY

née le 3 décembre 1949 à PARIS IXe

PRESENTEE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE. . . . . .

RAYONS X ET FOETUS

A PROPOS DE L'EVALUATION DES RISQUES

Président : M. P. MORIN, Professeur

EDITIONS MEDICALES em ET UNIVERSITAIRES

40, rue Pascal - PARIS XIIIe

FACULTE DE MEDECINE
PITIE-SALPETRIERE
UNIVERSITE PARIS VI

ANNEE
1975

THESE

N°

POUR LE

DOCTORAT EN MEDECINE

(Diplôme d'Etat)

PAR

Catherine WEIL-LEVY

née le 3 décembre 1949 à PARIS IXe

PRESENTEE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE. . . . . .

RAYONS X ET FOETUS

A PROPOS DE L'EVALUATION DES RISQUES

Président : M. P. MORIN, Professeur

EDITIONS MEDICALES ET UNIVERSITAIRES

40, rue Pascal - PARIS XIIIe

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

A mes Parents,

En témoignage de ma profonde affection
et de ma reconnaissance.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41544725_0013

A Jean - Sylvain,

A Nathanaël,

Avec toute mon affection.

A Mamy Marguerite,

A mes Beaux-Parents,

A mes Soeurs,

A mes Amis.

A mon Maître,

Monsieur le Professeur Paul MORIN,

Qui m'a fait le grand honneur d'accepter la présidence de cette thèse.

Il m'a accueillie avec bienveillance dans son service et m'a dispensé son précieux enseignement.

Qu'il me soit permis de lui exprimer ici toute ma reconnaissance et mon profond respect.

A mon Maître,

Monsieur le Professeur Agrégé Ph. ENGELMANN,

Qui m'a guidée dans la réalisation de cette thèse en m'apportant ses judicieux conseils.

Qu'il reçoive ici l'assurance de ma gratitude et de mon respectueux dévouement.

A Monsieur le Professeur Agrégé P. SIMON et à toute l'équipe de Pharmacologie du CHU Pitié - Salpétrière,

En remerciement pour leur enseignement si utile.

A mes Maîtres des Hôpitaux :

- Monsieur le Professeur J. ARNOUS,

- Monsieur le Docteur GOZLAND,

- Monsieur le Docteur JOSEPH,

- Monsieur le Professeur J.A. LIEVRE,

- Monsieur le Professeur B. PERTUISET,

- Monsieur le Professeur A. SICARD,

- Monsieur le Docteur SOMIA,

- Monsieur le Professeur R. WOLFROMM.

Qui m'ont accueillie dans leur service et dispensé leur enseignement, au cours de l'externat et du stage interné.

A Madame le Docteur Jacqueline BUDIN,

A Monsieur le Docteur Jean HEBERT,

Avec mon respect et mon amitié.

Il nous est arrivé récemment à la Maternité de Lariboisière (Service de Monsieur le Professeur MORIN) de voir en consultation des femmes enceintes qui avaient été radiographiées au début de leur grossesse.

L'une d'elles avait subi un lavement baryté pour nausées et troubles du transit.

Nous avons été ainsi confrontés avec le problème des éventuels risques foetaux, consécutifs à ces examens radiologiques.

Etait-il licite d'interrompre ces grossesses ? Ou pouvait-on raisonnablement les laisser poursuivre leur évolution?

Nous avons donc tenter d'évaluer les risques embryo-foetaux du radiodiagnostic, pour en tirer des mesures pratiques et, éventuellement, des conclusions.

oOo

P L A N

I - Introduction

II - Historique

III - Notions de biophysique des rayons X

A - Qu'est-ce que les rayons X

B - Interactions élémentaires des photons X avec la matière

C - Principes généraux de dosimétrie.

1 - la dose absorbée

2 - l'exposition

3 - efficacité biologique relative

D - Facteurs influant sur la dose de rayons X reçue.

IV - Notions de radiobiologie

A - Radiobiologie descriptive

B - Radiobiologie factorielle et quantitative

V - Irradiations et radiocontamination pendant la grossesse

A - Sources d'irradiation environnante

B - Sources de radiocontamination environnante

C - Sources de radiocontamination iatrogène

VI - Effets embryo-foetaux des rayons X

A - L'expérimentation animale

1 - conditions d'action

2 - effets suivant le stade gestationnel

3 - effets suivant les doses de rayons X

B - Effets embryo-foetaux humains

1 - selon les périodes de la grossesse

2 - selon les doses reçues

VII - Doses de rayons X reçues par le foetus au cours du radiodiagnostic

A - Radiodiagnostic non obstétrical

1 - quand le foetus n'est pas dans le champ d'irradiation

2 - le foetus se trouve dans le champ d'irradiation

B - Doses reçues au cours du radiodiagnostic obstétrical

1 - radiographie foetale

2 - radiographie placentaire

3 - radiopelvimétrie

VIII - Mesures à prendre pour diminuer l'irradiation foetale

IX - Conclusion

oOo

INTRODUCTION

Parmi les différents agents tératogènes agissant sur le développement du foetus humain, certains sont absolument indépendants de notre volonté (maladies virales, bactériennes ou parasitaires, carences diverses..).D'autres, au contraire, peuvent avoir une origine iatrogène ou être dus indirectement à l'activité humaine (sources de pollution, retombées radio-actives...)

C'est dans ce second groupe que l'on peut placer l'action des rayons X sur le foetus, que la grossesse soit connue ou insoupçonnée (2e partie de cycle), que l'irradiation soit volontaire : diagnostique ou thérapeutique, ou involontaire : déchets d'usines nucléaires, retombées d'explosion, accidents...

Malgré le grand nombre de publications dont ce problème a fait l'objet, il nous a semblé intéressant de l'aborder, car si les effets embryo-foetaux des fortes doses de rayons X sont parfaitement établis, il n'en reste pas moins vrai, que, comme l'ont écrit BABSON et BENSON (3), "la dose de radiations ionisantes réellement tératogène chez l'homme reste à déterminer".

Ceci est particulièrement exact, en ce qui concerne les faibles doses d'irradiation, qui sont justement celles employées au cours du radiodiagnostic.

L'objet de notre étude portera essentiellement sur l'évaluation des doses de rayons X reçues par le foetus au cours du radiodiagnostic. Donc nous écartons d'emblée, volontairement la radiothérapie.

Bien qu'il s'agisse de foetus humain, nous exposerons brièvement auparavant les données de l'expérimentation animale.

Cette étude inclut donc tous les examens radiologiques pratiqués, chez la femme enceinte, que sa grossesse soit connue ou ignorée.

Au total, nous tenterons de déterminer les relations éventuelles entre les doses de rayons X reçues par le foetus et les effets induits par l'irradiation, puis nous exposerons l'ensemble des mesures à prendre pour diminuer cette irradiation et quelle doit être l'attitude du gynécologue obstétricien face à ce problème.

oOo

II - HISTORIQUE

Les différents effets embryo-foetaux des rayons X sont connus depuis presque aussi longtemps que la pratique radiologique. Deux groupes principaux d'effets ont été décrits dès le début du siècle :

- la possibilité de provoquer des avortements par l'exposition aux rayons X en début de grossesse,

- la possibilité d'induire des malformations souvent graves chez le foetus dont la mère a été radiographiée en cours de grossesse.

A - LES AVORTEMENTS RADIOTHERAPIQUES

Le fait d'utiliser les rayons X dans un but abortif a été discuté dès 1911 (VON KLOT)(27), Puis en 1923 de fortes doses de rayons X étaient délibérément appliquées pour provoquer un avortement dans les premiers mois de la grossesse chez des femmes tuberculeuses (ARCHANGELSKY, BAILEY et BEGGH (23)). Le procédé est repris en 1924 par DRIESSEN et en 1929 par MURPHY.

En 1936, cette méthode était couramment utilisée pour provoquer des avortements thérapeutiques (MAYER, HARRIS, WIMPFHEIMER)(23).

Mais cette méthode est ensuite abandonnée, en raison de son efficacité inconstante : un foetus polymalformé pouvait malgré tout être viable.

B - LES MALFORMATIONS CONGENITALES ET LES ABERRATIONS CHROMOSOMIQUES

En ce qui concerne les malformations, c'est en 1910 en France et en Allemagne que l'on trouve les premières publications les mentionnant (34).

Puis en 1925, une observation est rapportée par ASCHENHEIM, confirmée en

1926 par RAPPERT et en 1929 par MURPHY (29). Il s'agissait de malformations du système nerveux central après radiothérapie pelvienne.

Puis on trouve, à la fois des observations de malformations congénitales et d'aberrations chromosomiques (GOLDSTEIN et MURPHY 1929; GANOS : 1930; FLASKAMP : 1930;) (9).

L'expérimentation animale fait alors son apparition.

C - DONNEES DE L'EXPERIMENTATION ANIMALE

C'est le grand mérite de nombreux auteurs : HICKS, ERSHOFF, RUGH, GRUPP, RUSSEL et bien d'autres. Le grand intérêt de leurs études réside surtout dans l'étude des très faibles doses de rayons X sur le développement embryonnaire. Des études de dosimétrie très précoces ont été faites en 1932 par TAYLOR (53).

D - ETUDE DES EFFETS DES EXPLOSIONS ATOMIQUES

C'est avec l'étude des effets des explosions de HIROSHIMA et NAGASAKI (1945) que les séquelles de l'irradiation foetale ont pu être analysées avec beaucoup de soin. Surtout en ce qui concerne l'étude des effets génétiques à long terme (YAMAZAKI, PLUMMER, MILLER) et l'apparition des leucoses (5), (53).

E - DEPUIS 1956, LES PUBLICATIONS ET ENQUETES DIVERSES

Une petite révolution a eu lieu le 1er septembre 1956 lors de la publication dans "Lancet" de l'enquête réalisée par Miss A. STEWART et ses collaborateurs (Oxford). Cette enquête, qui ne cesse d'être controversée, a déchainé les passions et inquiété le public et le monde médical. Elle montrait une relation significative entre l'irradiation pelvienne radiodiagnostique pendant la grossesse et l'apparition de cancers et leucoses chez les enfants de ces femmes avant leur dixième année (48).

A la suite de quoi; la littérature regorge d'enquêtes et de contre-enquêtes, rétrospectives ou prospectives. La même année, OSBORN et SMITH (31), déclaraient que 29 % des doses de rayons X pouvant avoir un retentissement génétique prove-

naient du radiodiagnostic obstétrical.

En 1957, est créé au Ministère de la Santé Publique un groupe de recherches sur "l'étude des effets embryo-foetaux des radiations".

En 1959, FORD présente une série d'enfants atteints de leucose en rapport avec une irradiation au 3e trimestre de vie intra-utérine.

Puis en 1960, on trouve de nombreuses enquêtes et études dosimétriques : TURPIN, MAYER, LEJEUNE et RETHORE (28), sur l'hétérochromie segmentaire de l'irie; GROS, WEILL et BURGY (19) et J. BEWLEY, LAWS et MAGNIN (6) sur la radiopelvimétrie.

Plus récemment encore, en 1963, TUBIANA publie dans "Pédiatrie" les données sur les risques de la radiologie médicale pour l'embryon, le foetus et l'enfant (51).

Enfin, nous avons trouvé dans "Lancet" de juin 1970 un nouvel article de Miss STEWART sur ce problème (49).

Actuellement cette question présente encore plus d'acuité en raison de la nouvelle loi sur l'interruption de grossesse (janvier 1975).

cOo

III - NOTIONS DE BIOPHYSIQUE DES RAYONS X

Dans ce chapitre, nous tenterons d'exposer brièvement les notions fondamentales concernant les rayons X,nécessaires à la bonne compréhension du sujet.

Après avoir rappelé ce que sont les rayons X, nous décrirons sommairement les différentes interactions des photons X avec la matière.

La troisième partie sera consacrée aux principes généraux de dosimétrie. Nous en tirerons ensuite les conséquences, c'est-à-dire les différents facteurs qui font varier la dose de rayons X absorbée dans l'organisme.

A - QU'EST-CE QUE LES RAYONS X

Pour faire naître des rayons X, il suffit que des particules chargées et animées d'une vitesse suffisante viennent heurter la matière. L'émission de rayons X peut se produire spontanément ou bien lors du fonctionnement de certains appareils, comme en pratique médicale courante où l'on se sert d'un tube à vide.

Le photon X n'est donc pas une particule, c'est une onde chargée d'une certaine énergie $h\nu$. Le rayonnement X possède les caractères physiques suivants :

- se propage en ligne droite,
- parcourt le vide à la vitesse de la lumière,
- n'est dévié ni par les champs électriques, ni par les champs magnétiques,
- donne lieu aux phénomènes de diffusion et de diffraction.

B - INTERACTIONS ELEMENTAIRES DES PHOTONS X AVEC LA MATIERE

Il en existe cinq types, mais seulement trois nous intéressent, en ce qui concerne les effets des rayons X avec l'organisme.

L'importance relative de ces trois phénomènes dépend de la nature du matériau absorbant et surtout de l'énergie du photon incident.

Il s'agit de :

- l'effet Compton,
- l'effet photoélectrique
- l'effet de matérialisation avec création d'une paire électronique.

1 - L'effet Compton (1924)

C'est un phénomène de diffusion avec changement de longueur d'onde. Il existe surtout quand on utilise des rayonnements très pénétrants. Il s'agit du choc photon-électron et de l'apparition de photons diffusés. Cet effet donne naissance à des rayonnements beaucoup plus mous que le rayonnement incident.

2 - L'effet photo-électrique :

Mécanisme prépondérant, pour des photons d'énergie peu élevée. C'est donc l'effet prédominant en radiodiagnostic. C'est l'interaction d'un photon X avec un atome Dans cette absorption, le photon incident disparaît et c'est l'électron émis qui produirades excitetions ou des ionisations dans la matière.

3 - L'effet de matérialisation avec création d'une paire électronique :

Ce troisième mécanisme n'apparaît que pour les rayons X de haute énergie (supérieure à 1 MeV). En passant dans le champ d'un noyau, le photon incident se matérialise en deux électrons de charge inverse : un négaton et un positon. Le négaton accélèré va produire des ionisations dans la matière.

4 - Au total :

Quel que soit le mécanisme d'absorption des photons par la matière, certains photons sont absorbés, d'autres seront les photons X résiduels qui seront captés par un détecteur à la sortie du corps.

C - PRINCIPES GENERAUX DE DOSIMETRIE

Les définitions sont recommandées depuis 1962 par la commission internationale des unités et mesures radiologiques.

Lorsqu'un rayonnement d'énergie élevée traverse la matière, seule l'énergie absorbée dans la matière peut avoir une action sur elle. Avec les radiations ionisantes, plusieurs étapes sont nécessaires pour l'absorption d'énergie, avant l'apparition des effets biologiques.

On admet communément que l'énergie cédée à la matière se manifeste par l'ionisation, l'excitation ou la modification des liaisons chimiques atomiques ou moléculaires.

Ce fait est essentiel en dosimétrie.

1 - La dose absorbée

Le problème fondamental de la dosimétrie est de déterminer la dose absorbée "actuellement considérée comme la grandeur la plus significative quant aux effets chimiques, biologiques ou médicaux observables" (16).

Cette dose absorbée est la résultante des interactions élémentaires entre le rayonnement ionisant et la matière irradiée. Sa détermination en radiologie médicale est de première importance.

On appelle dose absorbée la densité de l'énergie déposée au voisinage d'un point P, c'est-à-dire l'énergie cédée à la matière, sous forme susceptible de provoquer une action locale.

Nous dirons donc que la dose absorbée est le quotient de l'énergie $d\xi$ transmise à un volume de matière (l'organisme tout entier ou un organe isolé) par la masse dm de ce volume de matière.

$$D = \frac{d\xi}{dm}$$

l'unité de dose est le rad (rd)

et l'on pourra écrire la relation suivante :

1 Rad = 0,01 joule/kg = 100 ergs/gramme

Toutefois il est plus facile d'avoir une appréciation de la dose absorbée au moyen du nombre des ionisations mesurées à l'aide d'une chambre d'ionisation. Et l'on a la relation :

1 rad correspond à 2×10^{12} ionisations/gramme.

D'où l'on pourra définir la dose absorbée d'une autre manière : c'est la densité d'ionisations au voisinage d'un point P.

$D = \frac{W\ dn}{dm}$ où W est l'énergie par ionisation et dn : le nombre d'ionisations au point P.

La dose absorbée varie avec la densité de la matière considérée (air, eau, tissu mous, os...) le volume corporel irradié, la tension aux bornes du tube à rayons X, le courant et son temps de passage.

2 - Notion d'exposition

C'est une grandeur réservée aux photons X (et gamma). Elle représente la quantité de photons qui passent au voisinage d'un élément de volume P.

L'exposition X est le quotient de la quantité d'énergie $d\mathcal{E}$ transférée aux électrons secondaires par la masse de l'élément de volume P et l'énergie W des ionisations produites sur la trajectoire des électrons secondaires.

$$X = \frac{d\mathcal{E}}{dm} \times \frac{1}{W}$$

L'unité d'exposition est le roentgen (R)

On peut calculer une exposition, mais matériellement, on ne peut pas la mesurer.

Dans les conditions d'équilibre électronique, l'exposition est directement proportionnelle à la dose.

Il existe un facteur de conversion f, variable avec le tissu considéré :

$f = \frac{D}{X}$ exprimée en Rad x Röntgen^{-1} (rd x R^{-1})

3 - Efficacité biologique relative (EBR)

C'est une grandeur qui sert à comparer l'efficacité biologique des doses ab-

sorbées dans la matière, dues à des radiations ionisantes de différents types.

C'est un facteur sans dimension. Les calculs sont faits par rapport à un rayonnement de référence photons X à 200 KV.

Les Anglo-saxons ont une unité de dose d'EBR : c'est le REM : Roentgen Equivalent Mammal : qui est la dose, produisant le même effet que celui produit par 1 Rad de rayons X.

Pour donner un exemple, la radio contamination naturelle nous expose à des doses de l'ordre du milliREM.

D - FACTEURS INFLUANT SUR LA DOSE DE RAYONS X RECUE

Nous allons rapidement passer ces facteurs en revue, et voir, pour chacun d'eux, le moyen de faire diminuer la dose reçue.

1 - Le temps d'irradiation

C'est-à-dire le nombre de clichés, et le temps de pose pour chaque cliché. Il faut limiter leur nombre, pour faire diminuer les doses.

2 - L'intensité du courant et la tension aux bornes :

Représentent la qualité du rayonnement. On aura intérêt à utiliser des rayonnements pénétrants (tension élevée), ce qui permet d'employer des intensités très faibles, donc de réduire la dose délivrée au sujet.

3 - Améliorer les détecteurs :

a) - Pour la scopie :

Actuellement, l'amplificateur de brillance a avantageusement remplacé les écrans de scopie d'autrefois.

b) - pour les films radiologiques

- ne pas les surexposer
- utiliser un facteur de contraste adéquat,
- employer des écrans renforçateurs, dits "haute tension", encore plus efficaces.

- améliorer la sensibilité propre du film : rapidité avec laquelle il est impressionné, cela permet de diminuer la quantité de photons nécessaires au niveau du récepteur.

4 - L'utilisation des filtres

Permet d'éliminer les composants de basse énergie, donc réduit le rapport dose d'entrée sur dose au film.

Le filtre élimine les composantes molles qui irradient les tissus mous dans les premiers centimètres de profondeur et qui n'ont aucun intéret pour le radiodiagnostic.

En France, la loi impose un filtre d'aluminium de 0,5 mm; mais on a intérêt à utiliser des filtres supplémentaires plus épais. Dans d'autres pays, il est légalement exigé un filtre de 2 mm, pour lequel les doses sont encore plus faibles.

Pour donner un exemple : la dose d'entrée à 65 KV avec un filtre de 0,5 mm est de 3,5 Rads. Elle chute à 0,43 Rad lorsque l'on place un filtre de 3 mm.

5 - Le volume corporel irradié, peut être diminué par plusieurs procédés :

a) - Les diaphragmes et cônes localisateurs :

Permettent de réduire la surface de champ et limitent donc l'irradiation à une zone bien déterminée.

b) - Les grilles anti-diffusantes

La diffusion est proportionnelle à l'épaisseur de l'organisme traversé et elle crée un flou sur l'image. On pourra se débarrasser de ce phénomène gênant en plaçant des grilles anti-diffusantes entre la personne radiographiée et le film.

c) - Soustraire les gonades au rayonnement :

surtout chez l'enfant. Cela est très faisable en utilisant des tabliers ou des bandes de caoutchouc plombé.

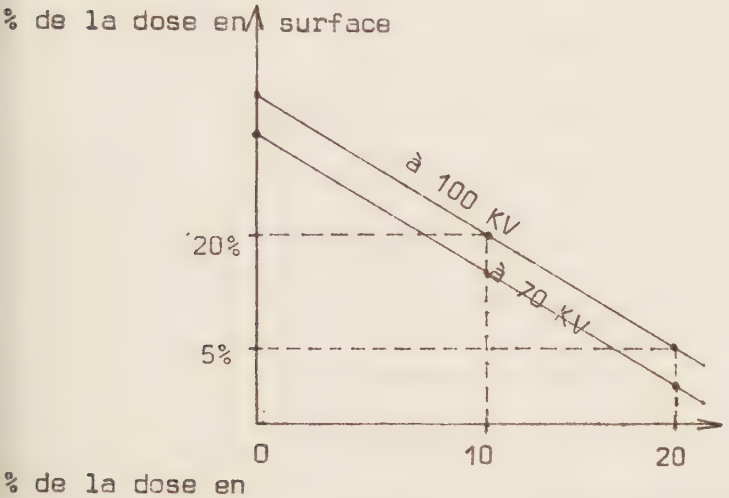
6 - La profondeur des tissus et la distance source-peau :

a) - La dose varie avec la profondeur dans l'organisme :

Plus la distance par rapport à la surface augmente, plus la dose di-

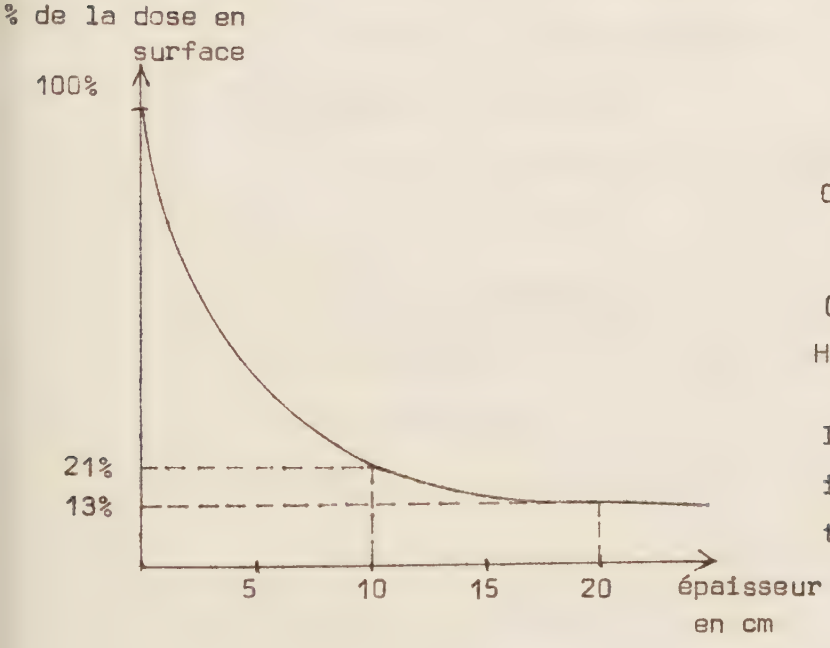
minue : en effet la quantité de radiations en un point dépend de l'épaisseur des tissus traversés. Il y a une atténuation en profondeur. Ceci est important en ce qui concerne les gonades : on considère que les ovaires sont situés à 9 cm de profondeur.

Voici les courbes d'absorption d'après différents auteurs, et suivant la profondeur :



On note qu'à 10 cm de profondeur il ne persiste plus que 20 % de la dose d'entrée pour un rayonnement émis à 100 KV

(d'après RITTER)(40)



Courbe d'absorption sur fantome : rayonnement émis à 130 KV

(d'après WEILL; GROS, BONNEVILLE et HANS) (52)

Ici également à 10 cm de profondeur, il ne reste que 21 % de la dose d'entrée.

b) - <u>La dose varie avec la distance source-peau</u> :

En effet la dose absorbée est proportionnelle au nombre de photons par unité de surface, il est donc inversement proportionnelle au carré de la distance entre un point considéré et la source de rayons X. Donc plus cette distance augmente, plus la dose sera faible. En pratique on essaie d'obtenir de grandes distances foyer -film.

7 - La densité des tissus rencontrés :

Les photons X sont absorbés différemment suivant la densité des milieux rencontrés. Ainsi l'os absorbe plus de radiations que les tissus mous voisins.

8 - Au total :

La dose de rayons X absorbée dépend de nombreux facteurs :

a) - Les facteurs physiques :

- intensité du courant,
- temps d'irradiation
- tension de l'installation
- filtration des rayons
- absorption et diffusion dans l'organisme
- densité des tissus rencontrés.

b) - Les facteurs géométriques :

- distance foyer-sujet et foyer-film
- la surface de champ

c) - Les facteurs photographiques :

- sensibilité propre des détecteurs
- écrans utilisés
- tireuse de film (Logetron-)
- exposition
- facteurs de contraste
- amplificateur de brillance
- temps de pose

d) - Les facteurs psychologiques :

Sur lesquels nous reviendrons à la fin de cette étude :

- ne pas exagérer les indications
- savoir limiter le nombre de clichés
- ne pas rechercher l'esthétique, mais seulement le renseignement adéquat.

IV - NOTIONS DE RADIOBIOLOGIE

Nous rappellerons ici les effets fondamentaux des rayons X sur l'organisme. La première partie sera consacrée à la description des divers effets sur la matière vivante, la seconde abordera quelques notions de radiobiologie factorielle et quantitative.

A - LA RADIOBIOLOGIE DESCRIPTIVE

1 - Les effets physiques :

Il s'agit de l'interaction des photons X avec les atomes suivant les divers modes déjà expliqués (effet Compton, effet Photoélectrique, effet matérialisation) L'énergie cédée se répartit en 50 % d'excitations et 50 % d'ionisations. Ce sont des effets très courts : 10^{-9} seconde.

2 - Les effets chimiques :

Les rayons X réagissent avec les molécules de l'organisme.

a - Un effet direct de cassures moléculaires

sur les protéines et enzymes du cytoplasme, et sur les acides nucléiques du noyau. Durée : entre 10^{-6} et 10^{-3} sec.

b - un effet indirect de radiolyse de l'eau :

avec apparition de radicaux libres et formation de péroxydes très actifs.

3 - Les effets cellulaires :

La cellule est un élément vivant, fonctionnel et qui se reproduit. Les rayons X vont agir à ces trois niveaux. Suivant les doses et en commençant par les plus faibles pour aboutir aux plus élevées : on obtiendra : une action sur le rôle fonctionnel (annulation de synthèse) puis un retard ou même une annulation de la re-

production par bloquage de la synthèse d'ADN, puis la mort cellulaire.

Un peu à part est l'effet sur le code génétique : à tout moment, il peut apparaître des mutations responsables secondairement : de cancérisation de la cellule ou de mutagénèse . dans la descendance.

4 - Les effets tissulaires

Se déduisent de la loi de Bergonie et Tribondeau selon laquelle le degré de sensibilité aux radiations est directement proportionnel à l'activité mitotique et indirectement proportionnel au degré de différenciation.

Donc les rayons X toucheront surtout les tissus peu différanciés et qui se multiplient vite. Ainsi les tissus embryonnaires sont les plus radio-sensibles.

5 - Les effets sur l'ensemble de l'organisme

Nous les énumérerons rapidement :

- la mort immédiate,
- la mort à long terme par cancérogénèse et raccourcissement de la durée de vie,
- la mort héréditaire par atteinte des cellules germinales.

B - RADIOBIOLOGIE FACTORIELLE ET QUANTITATIVE

1 - Radiobiologie factorielle :

a) - quantité de rayonnement :

En radiobiologie; il y a deux grandeurs dosimétriques à considérer :

- la dose locale absorbée : exprimée en Rad.
- la dose intégrale : exprimée en Rad x gramme, qui est le produit de la dose locale par la masse de tissu irradié.

b) - Topologie :

consiste à utiliser des faisceaux de rayons X bien délimités de manière à n'irradier qu'un certain volume, appelé volume-cible.

c) - le facteur temps :

comporte deux notions importantes :

- le débit : quantité de rayonnement qui sort de la source par unité de temps. Il s'exprime en Rad/seconde, Rad/mn ou Rad/h. Lorsque le débit est élevé, la dose diminue.

- l'étalement : durée totale de l'irradiation.

d) - les facteurs biologiques :

sont multiples :

- facteur cellulaire : les cellules les moins différenciées et qui se multiplient vite sont les plus radiosensibles,

- facteur tissulaire : plus un tissu est bien oxygéné, plus il est radiosensible.

2 - Radiobiologie quantitative :

Entre le moment de l'irradiation et l'apparition des effets cliniques, il existe toujours un certain temps de latence, s'étageant entre quelques heures et quelques années. On distingue :

a) - effets précoces :

- pour une irradiation globale (accident). Il apparaît un triple syndrome neurologique, viscéral et hématologique.

- l'irradiation partielle : les mains, les yeux ou les gonades sont atteints. On constate une stérilité à partir de 400 rads chez l'homme, le double chez la femme.

b) - effets tardifs :

sont variables et variés :

- la mort différée

- la cancérogénèse : chez les individus irradiés, ou chez les enfants irradiés in utéro,

- les mutations : en effet, on pense qu'une dose de 1 rad induit 2×10^{-4} mutations dont 50 % sont chromosomiques, et 50 % géniques. Ces mutations

se manifestent soit par des avortements spontanés précoces, soit par des tares sur les générations ultérieures.

- la tératogénèse : ensemble des effets malformatifs dus à une irradiation au cours de l'embryogénèse. Elle a été particulièrement étudiée chez l'animal.

Tels sont les différents aspects de la radiobiologie et avant d'entrer directement dans le vif du sujet, il faut décrire brièvement les divers modes d'irradiation et de radiocontamination pendant la grossesse.

oOo

V - IRRADIATION ET RADIOCONTAMINATION

PENDANT LA GROSSESSE

Seule l'énergie d'une radiation absorbée dans la matière produit des effets biologiques sur celle-ci c'est donc par l'intermédiaire des doses absorbées que l'on peut aborder l'étude du risque foetal lié aux explorations radiologiques pendant la grossesse. Et au fond du problème se pose donc une question primordiale : celle de la "dose admissible" appelée aussi "maximum permissible dose" par les auteurs anglo-saxons (47), et que TUBIANA a décrite comme "n'étant pas la dose pour laquelle il n'existe aucun risque, mais celle pour laquelle les risques deviennent négligeables, en regard des autres risques de la vie quotidienne" (35).

C'est précisément ces "autres risques de la vie quotidienne" que nous nous proposons d'évoquer, dans ce chapitre. Il faut tout d'abord définir les termes employés car les mécanismes sont différents.

Quant on parle d'irradiation, il s'agit uniquement des effets des radiations ionisantes, seule leur matière physique compte.

Tandis que la radiocontamination procède d'un mécanisme plus intime, plaçant en contact l'atome radio-actif et la cellule concernée : les caractères chimiques et biologiques du composant ont leur importance ici.

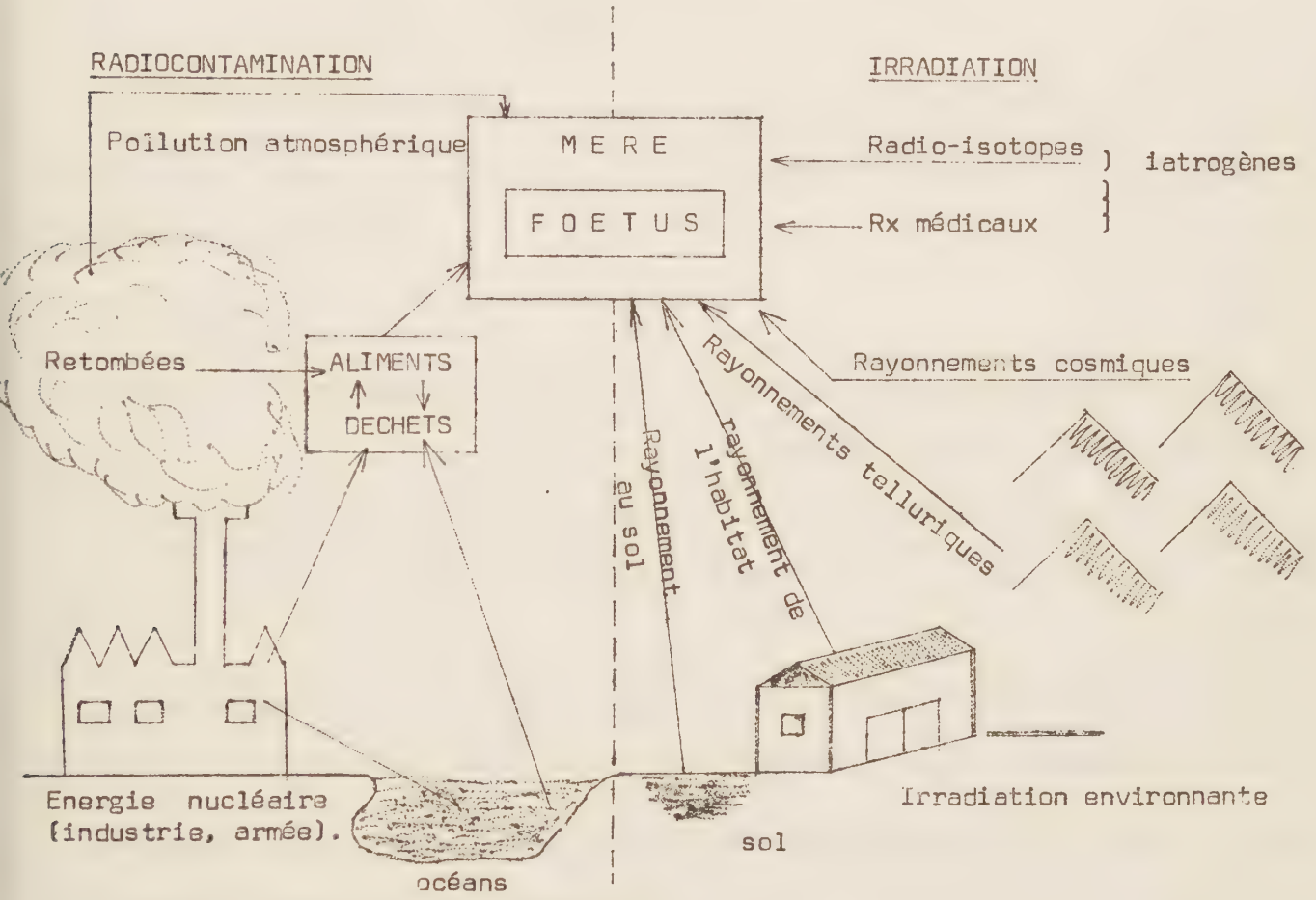
Dans les deux cas,il existe deux étiologies : environnante et iatrogène.

Lorsqu'elles sont iatrogènes : ce sont des actes médicaux, faits avec le consentement de l'intéressé à des fins diagnostiques ou thérapeutiques. Le risque est calculé, le seul élément inconnu est l'éventuelle existence d'une grossesse qui serait passée inaperçue, chez la femme traitée.

A l'opposé, lorsqu'elles sont environnantes, elles surviennent sans le consentement des individus, et elles sont étrangères à tout acte médical. Leurs origi-

nes et leurs mécanismes sont très variés.

Le schéma suivant (d'après STERNBERG, Am. J. Obst. Gyn. Oct. 1970) (47) montre assez bien toutes les sources d'irradiation et de radiocontamination existant pendant la grossesse et donc susceptibles d'atteindre le foetus.



A - SOURCES D'IRRADIATION ENVIRONNANTE

1 - Les rayons cosmiques :

Leur nature est controversée. Ils existent depuis la création de la vie sur la terre. Ils correspondraient à des noyaux d'atomes (hydrogène, hélium) atteignant la terre à très grande vitesse et proviendraient du soleil ou de la galaxie. Les plus faibles nous exposent à 50 milliREM par an au niveau de la mer, quatre fois plus en haute altitude.

2 - Les rayons telluriques :

Ils varient beaucoup avec la nature du sol considéré. Pour un sol normal, ils délivrent 70 milliREM par an. Dans certaines régions, ils peuvent atteindre 12000 milliREM par an.

Par ailleurs, certains sols contiennent du potassium lequel renferme 0,0119 % de potassium K^{40} radioactif. Le sol contient également d'autres éléments radioactifs (uranium 238, Thorium 232, Radium...) que l'on retrouve dans l'eau et les aliments et qui vont se concentrer dans le squelette.

3 - Les rayonnements de l'habitat

Peuvent être considérés comme une extension des rayons telluriques. Plus le matériau est rocheux plus la radio-activité augmente. Le granit expose environ à 150 à 200 milliREM par an.

4 - Au total

Il est très difficile d'apprécier la quantité de radiations reçue de cette manière par le foetus au cours de sa vie intra-utérine. Toutefois, l'on considère que l'ensemble des rayons cosmiques, telluriques et de la radioactivité du potassium K^{40} nous exposent naturellement et obligatoirement à une dose de : 0,1 rad par an.

A cette exposition est lié un risque d'induction de cancers et de mutations. On considère généralement que 1 cancer sur 1000 serait dû aux radiations naturelles.

En outre une étude faite à New York (47) entre les années 1948 et 1955, a montré que le taux de malformations congénitales pour 1000 naissances vivantes passait de 12,9 à 17,5 lorsque la radio-activité du sol augmentait.

Ce qui laisse vraiment à réfléchir...

B - SOURCES DE RADIOCONTAMINATION ENVIRONNANTE

On ne peut les ignorer. La radiocontamination fait pénétrer dans l'organisme des atomes radioactifs pour les placer au contact des cellules.

La pénétration se fait :

- par l'air inspiré,
- ou par le cycle des aliments

- plus rarement, par une blessure.

L'impact dans l'organisme est directement lié à la structure chimique des atomes.

1 - Radiocontamination naturelle :

Les corps les plus contaminants sont le Radium 226 , et le Radon. On les trouve dans les aliments, l'eau et les os.

Pour donner un exemple : dans l'eau potable, on trouve entre 0,04 et 0,10 µµ Curie/litre: de Radium 226 dans les aliments, on en trouve : 0,3 µµ Curie/kg de lait et 4,1 µµCurie/kg oeuf.

2 - Radiocontamination artificielle :

Elle est due uniquement à l'activité humaine à des fins militaires ou industrielles (énergétiques).

Grossièrement on distingue trois groupes d'éléments radioactifs contenant chacun quinze éléments. Leur demi-vie est si courte qu'en général 99,8 % de la radioactivité a disparu 1 jour après la fission et 99,9 % 1 semaine après. Mais c'est le 0,1 % restant qui est dangereux et contaminant.

C - SOURCES DE RADIOCONTAMINATION IATROGENE

Lorsqu'on administre un radioisotope à une femme enceinte, on prend toutes les précautions pour diminuer au maximum les doses foetales et maternelles. Le danger, en fait, existe surtout quand il s'agit d'une femme, dont on ignore ou méconnaît la grossesse.

Ainsi en 1958, VALENSI et NAHUM (47) rapportent le cas d'une jeune femme thyrotoxique traitée par l'Iode 131 à la quatrième semaine d'une grossesse ignorée. Il s'en est suivi l'accouchement prématuré à 7 mois et demi d'un nouveau-né présentant une énorme exophtalmie et une radio-destruction complète de la thyroïde et qui décéda peu de temps après.

En fait, ceci, est anecdotique et sort un peu du cadre denotre étude, car

nous avons exclu dès le départ les explorations radio-isotopiques.

Telles sont donc les sources d'irradiation environnante, et de radiocontamination environnante et iatrogène. Les doses délivrées, quoi que la plupart du temps négligeables prises séparément, finissent par s'accumuler. Nous verrons par la suite quelle est la part propre du radiodiagnostic dans les doses auxquelles le foetus est exposé durant sa vie intra-utérine.

oOo

VI - EFFETS EMBRYO-FOETAUX DES RAYONS X

Nous étudierons successivement les données de l'expérimentation animale, puis les effets embryo-foetaux humains des rayons X. Nous verrons, pour chacun des chapitres, en fonction de quels facteurs varient les effets induits.

A - L'EXPERIMENTATION ANIMALE

Nous avons volontairement écarté de cette étude les expériences sur des animaux autres que les mammifères. Nous pensons en effet que seule l'expérimentation sur les mammifères, dont la gestation et la physiologie ressemblent beaucoup à celles de l'homme, pouvait entrer dans le cadre de cette étude.

Les facteurs tératogènes, étudiés expérimentalement, se classent en cinq groupes (physiques, chimiques, nutritionnels, hormonaux et infectieux). Les rayons X font partie des facteurs physiques.

1 - Conditions d'action

On décrit théoriquement, en ce qui concerne l'expérimentation animale, plusieurs types de sensibilité a un même agent tératogène (15).

a) - La sensibilité de stade :

suivant le stade gestationnel pendant lequel l'agent tératogène intervient.

- avant l'implantation de l'oeuf, suivant l'intensité de l'agent tératogène, les lésions sont soit définitives et mortelles, soit complètement réversibles et donnant naissance à des foetus indemnes.

- après implantation, et pendant toute la période de morphogénèse intense : c'est la période tératogène proprement dite, où l'ébauche est la plus sensible et plusieurs malformations peuvent s'associer.

b) - La sensibilité d'espèce :

Un facteur peut être tératogène pour une espèce et pas pour une autre. Ce qui rend difficile l'interprétation des résultats et leur extrapolation à l'homme. Toutefois les rayons X ne posent pas ce problème, étant tératogènes pour tous les mammifères.

c) - La sensibilité de race :

Dans une même espèce et pour un même agent causal, le pourcentage de malformations varie selon la race et même la lignée.

d) - La sensibilité d'individu :

Dans une même portée, soumise au même facteur, les effets peuvent être différents selon les individus. Certains, même, peuvent naître indemnes.

Abordons maintenant l'expérimentation animale proprement dite.

Les effets de l'exposition de l'embryon et du foetus aux rayons X dépendent essentiellement de deux facteurs :

- la dose de radiations ionisantes
- le stade gestationnel de l'irradiation.

2 - Effets des rayons X suivant le stade de la gestation

Il semble que la nature et l'intensité des lésions induites dépendent avant tout du stade gestationnel atteint par l'embryon de mammifère au moment de l'irradiation.

Comme nous l'avons expliqué au chapitre de radiobiologie, ce sont, à chaque stade, les tissus et/ou les organes qui se multiplient le plus, qui seront les plus atteints par l'agression tératogène et qui présenteront par conséquent le plus de malformations (Loi de Bergonie et Tribondeau).

Les résultats obtenus seront ensuite facilement extrapolables à l'homme, à l'aide des tables de correlations entre les développements des embryons de mammifères et celui de l'homme.

On distingue trois périodes, au cours desquelles les effets de l'exposition aux rayons X seront bien différents :

- la période de pré-implantation,
- la période de grande organogénèse
- la période foetale proprement dite.

a) - A la période de pré-implantation :

qui s'étend de la fécondation jusqu'à l'implantation (4 - 5 premiers jours chez la souris), l'irradiation des femelles gravides produit :

- soit la mort de l'embryon, dans la plupart des cas, d'autant plus fréquemment que l'on est proche de la fécondation : 80 % des cas au 2e jour, 50 % au 4e jour.

- soit aucune atteinte, les anomalies sont rares, et en tout cas réversibles. Les embryons non atteints naissent indemnes de toute lésion.

C'est donc une loi du "tout ou rien". Les doses nécessaires sont peu élevées. On observe ces effets pour des doses comprises entre 5 et 15 rads. On ne peut fixer aucun seuil aux effets nocifs de l'irradiation, durant cette période : même une dose de 1 rad peut provoquer la mort de l'embryon.

b) - La période d'organogénèse majeure :

commence au moment de la gastrulation et comporte les phénomènes morphogénétiques les plus importants. La nature précise de chaque malformation induite dépend du jour de l'irradiation. C'est pendant cette période que la probabilité d'observer de très grosses malformations est maximale, même avec de très faibles doses. En revanche, lorsqu'on emploie des doses très élevées (200 rads, par exemple), on est sûr de voir apparaître 100 % de malformations chez les foetus ainsi exposés.

Bien que tous les appareils puissent être touchés, les lésions induites intéressent principalement le système nerveux central.

HICKS en 1953 a montré qu'avec une dose de 25 rads, les neuroblastes étaient détruits (9).

Par ordre de fréquence, on observe des malformations :

- du système nerveux central :
  - microcéphalie
  - exencéphalie et hernies cérébrales
  - hydrocéphalie
  - anencéphalie
  - encéphalocèle
  - myélo-méningocèle
  - atrophie cérébrale, ...
- oculaires
  - microcéphalie
  - cécité
  - chorio-rétinite
  - cataracte
  - colobome, ...
- osseuses
  - réduction de la taille
  - anomalies squelettiques
  - brachy-ou syndactilie...
- uro-génitales
- cardio vasculaires

Les expériences de SIKOV et LOFSTROM (46) sont significatives à ce sujet, elles ont été faites chez la souris, pour une même dose de 150 rads à différents moments de l'organogénèse : on constate, pour les malformations étudiées (microphtalmie, anomalies mandibulaires et des membres postérieurs), un pic à 9 jours 1/2; qui représente le pourcentage maximal de malformations, puis les courbes amorcent leur décroissance et à partir de 10 jours 1/2, le taux de malformations est très faible.

Au total, c'est la période de la plus grande sensibilité aux rayons X, même des doses faibles peuvent induire des malformations avec une prédilection pour le système nerveux central.

c) - La période foetale

Elle commence aux environs du 14e jour chez la souris.Les risques sont moindres, les grands systèmes sont en place. Il n'y aura plus de grandes malformations, mais seulement des atteintes fonctionnelles.

Toutefois, on a rapporté des lésions du cortex, de l'hippocampe, du corps calleux, du cervelet,dues à une irradiation à la période foetale.

On note également un retard de croissance, sous forme d'hypotrophie foetale.

d) - Corrélations entre les mammifères et l'homme :

Des tables de corrélation ont été établies et il est très intéressant de les connaître, en raison de l'extrapolation des données de l'expérimentation animale à l'homme.

Voici schématiquement ces corrélations :

Souris	5 j	8 j	9 j	10 1/2	11 1/2	12 1/2	13 1/2	14 1/2	15
Homme	11 j	20 1/2	25 1/2	28 1/2	33 1/2	36 1/2	38	47	65

Tels sont les effets des rayons X en fonction des différents stades gestationnels, étudions les maintenant en fonction des doses.

3 - Effets des rayons X suivant les doses reçues :

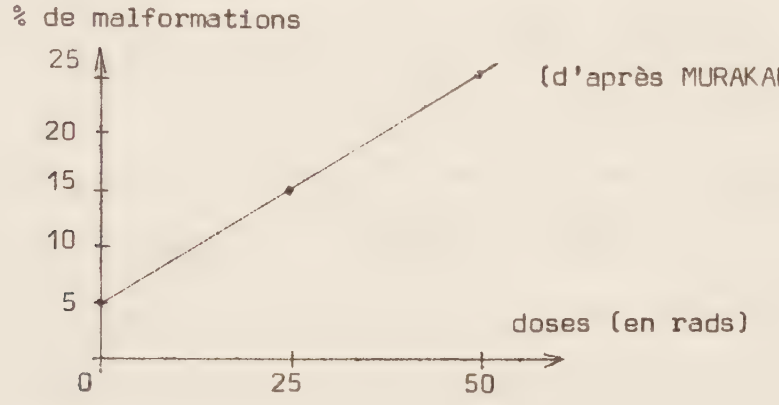
a) - Effets tératogènes malformatifs :

La nature de la relation dose-effet est particulièrement intéressante à connaître, surtout en ce qui concerne les faibles doses.

Nous avons trouvé des courbes significatives dans une publication de HULSE (1964)(22) permettant de connaître la relation dose-effet, le jour de l'irradiation étant constant : soit le 8e jour, soit le 9e jour. Ces expériences étaient réalisées chez des souris ou des rates. On note l'augmentation significative des malformations totales, des malformations oculaires et des retards de croissance, par rapport à des groupes témoins, en fonction des doses administrées.

Malgré tout, ces courbes manquent de détails en ce qui concerne les faibles doses : inférieures à 50 rads.

Cet effet des faibles doses a été particulièrement étudié par MURAKAMI et KAMEYAMA (1958),(5). On trouve un rapport linéaire significatif entre les doses et les effets, même pour des doses inférieures à 25 r.



(d'après MURAKAMI et KAMEYAMA, 1958)

L'effet tératogène induit serait donc proportionnel aux doses, quelles que soient leurs valeurs.

Les modifications morphologiques ou fonctionnelles, dues aux faibles doses, ont été surtout étudiées au niveau du système nerveux central, où les tests sont très sensibles.

Il a été noté que des doses de 5 à 10 rads (42) :

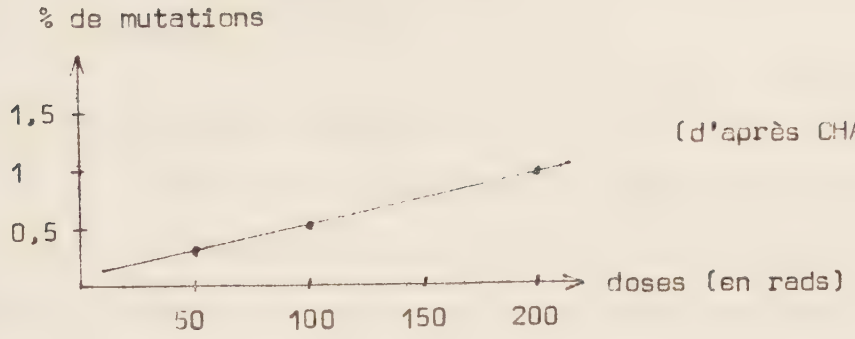
- retardent l'apparition des réflexes conditionnés,
- abaissent le seuil des convulsions spinales
- peuvent même déterminer des exencéphalies;si la race est très sensible.

b) - L'effet génétique :

Déjà en 1923, BAGG et LITTLE (5) produisirent des malformations héréditaires chez le rat. L'exposition à plusieurs centaines de Roentgen induit des malformations génétiques chez la souris.

Voici les résultats de l'étude de Charles (1950) (5) portant sur l'effet mutagène induit par les faibles doses de rayons X.

Le rapport linéaire est hautement significatif, même pour les faibles doses. CHARLES a démontré qu'un effet mutagène apparaît dès 13 Rads.



(d'après CHARLES, 1950).

Telles sont donc les données de l'expérimentation animale;on en retiendra deux notions fondamentales, extrapolables à l'homme :

1) - La période la plus radiosensible, où le maximum de systèmes seront touchés et où les malformations seront les plus graves, même à doses modérées, est la période d'organogénèse principale.

2) - La relation dose-effets induits est linéaire et même les doses les plus faibles sont capables d'induire des malformations et des mutations, si l'on est dans la période de grande radiosensibilité.

Pour conclure, nous citerons RUGH (1962) (5): "n'importe quelle exposition du tout jeune embryon doit être considérée comme de trop".

Bien sûr, en clinique humaine, cette attitude apparaîtra-t-elle par trop excessive, mais elle doit tout de même être prise en considération, lors de l'appréciation des risques.

B - LES EFFETS EMBRYO-FOETAUX HUMAINS DES RAYONS X.

Tout comme chez l'animal, plusieurs éléments de gravité interviennent :

- l'âge du foetus : plus il est jeune, plus ses cellules sont indifférenciées et se multiplient rapidement, plus il sera radio-sensible.

- la dose de rayons X à laquelle il est exposé.

D'autre part, nous verrons dans ce chapitre que l'exposition d'un foetus aux rayons X entraîne trois sortes de risques :

1) - un risque tératogène immédiat, lié à l'induction de malformations diverses et des mutations somatiques.

2) - deux risques ultérieurs :

- induction de cancers et leucémies chez le jeune enfant,

- risque génétique des mutations chromosomiques dans les cellules germinales, touchant non pas l'individu irradié, mais toute sa descendance à plus ou moins long terme.

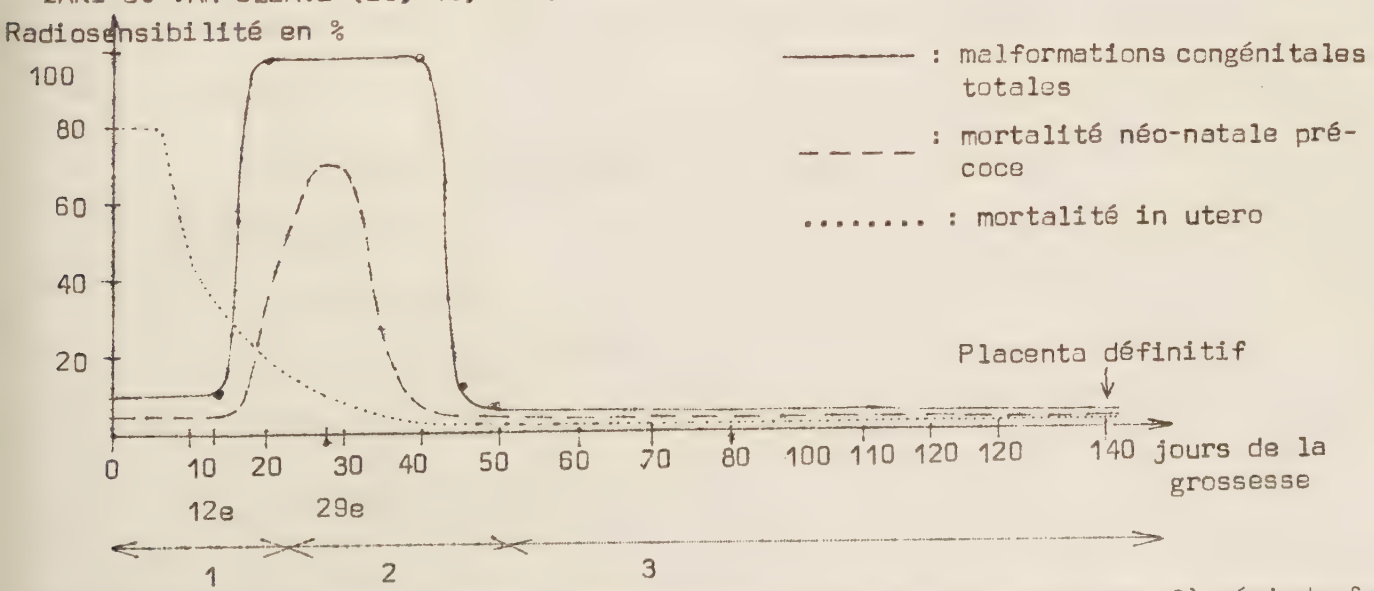
Ces effets ont pu être étudiés de différentes manières : au cours de la radiothérapie pelvienne de femmes enceintes, au cours de radiographies abdomino-pelviennes en cas de grossesse inscupçonnée, lors des radiopelvimétries de la fin de grossesse et enfin en étudiant le devenir des foetus irradiés in utéro lors des explosions atomiques de Hiroshima et Nagasaki (1945).

1 - Effets des rayons X selon les périodes de la grossesse :

Exactement comme chez l'animal, on considère les trois grandes phases suivantes, au cours desquelles la radiosensibilité foetale varie beaucoup :

- avant l'implantation de l'oeuf,
- l'organogénèse principale,
- la période foetale.

La courbe de radiosensibilité foetale suivante a été établie par RUGH, YAMAZAKI et VAN CLEAVE (29, 42, 53).



(1)organisme primordial; avant l'implantation,2)Organogénèse majeure, 3) période foetale : la radiosensibilité est identique à celle de la mère.

a) - de la fécondation à l'implantation

Cette période s'étend du jour 0 au 16e jour chez l'homme. A cette époque, l'irradiation provoque surtout la mort de l'embryon. Toutefois, elle peut parfois également induire des malformations graves du système nerveux central, mais c'est plus rare. Des doses de 5 à 15 rads suffisent pour produire ces effets.

b) - La période d'organogénèse majeure :

est la période tératogène par excellence : c'est la plus critique, où le foetus est le plus vulnérable, le plus sensible aux rayons X. L'embryon met en place les ébauches de ses différents organes. A ce stade, l'irradiation provoquera des malformations congénitales multiples, mais portant sur le système nerveux central avec la plus grande fréquence.

Suivant les auteurs, cette période s'étendrait :

- de la 3e à la 10e semaine (LEONARD)(29)
- de la 1ère semaine et demi à la 7e semaine (TUBIANA)(51)
- de la 3e à la 6e semaine (BLERY et BOURDON)(9).

En tout cas, on peut considérer, sans risque d'erreur, les dix premières semaines de la gestation comme étant les plus dangereuses, chez l'homme.

KRAEMS et SCHALL (29) ont étudié 35 cas de malformations induites par les rayons X : dans 51 % des cas l'exposition avait eu lieu avant le 2e mois; dans 31 % des cas entre le 3e et le 5e mois et enfin dans seulement 11 % des cas à partir du 6e mois.

On observe les malformations suivantes :

- cérébrales :
  - microcéphalie
  - retard mental, idiotie
  - hydrocéphalie
  - atrophie cérébrale,...

- oculaires :
    - microphtalmie
    - microcornée
    - colobome
    - strabisme
    - cataracte
    - chorio-rétinite, ...
- squelettiques :
    - déformation crânienne
    - fente palatine
    - syn-ou brachydactilie
    - réduction de la taille
    - spina bifida
- diverses
    - génitales
    - cardio-vasculaires
    - auriculaires
    - mongolisme

Une des malformations les plus fréquentes est la microcéphalie, survenant dans plus de 50 % des cas. Il s'associe à ces malformations une mortalité néo-natale dans un cas sur trois. La fréquence des malformations décroît du 1er au 6e mois.

c) - La période foetale

L'irradiation ne peut plus provoquer de grosses anomalies morphologiques, mais seulement des atteintes fonctionnelles, qui s'extérioriseront après un laps de temps variable.

- les déficiences fonctionnelles

sont essentiellement nerveuses, tels les troubles du comportement, les troubles de l'EEG et les tests à la recherche de retards mentaux.

- on a signalé des malformations du cervelet :

- le risque génétique :

ne s'extériorise pas à la naissance. Il s'agit d'une altération chromosomique des cellules de la lignée germinale. Il s'agit donc du risque de mutation génétique. En effet, sur les 100 000 survivants de l'explosion de Nagasaki, un sur trois a présenté des altérations chromosomiques.

Les mutations génétiques affectent la descendance du sujet atteint. Il faut attendre de nombreuses années avant de voir se manifester :

- un raccourcissement de la durée de vie
- un diabète
- une induction de cancers, de cataracte,
- une schizophrénie
- une sterilité

Peuvent être rattachés à cet effet mutagène :

- l'altération de la proportion de filles et de garçons dans la progéniture,
- l'augmentation du taux des avortements spontanés.

- Les mutations somatiques :

peuvent aussi être induites par irradiation in utero, qu'elles soient équilibrées ou non. On peut citer pour exemples :

- la trisomie 21 (9)
- l'hétérochromie segmentaire de l'iris (28)

- Le risque de leucémies et cancers dans l'enfance :

Depuis la publication de Miss STEWART (1956) l'opinion médicale est alertée et tente toujours de résoudre ce problème.

En tout état de cause, il semble que ce risque soit augmenté : une étude portant sur 1400 enfants a montré qu'il était doublé chez les irradiés in utero (49).

A partir d'une dose de 5 rads, le risque de leucoses et cancers augmente significativement.

Toutefois, on ne peut "ni conclure à un seuil, ni le nier"(51),(26;27) De plus, ce risque est encore plus grand, si l'irradiation a lieu au cours du 1er trimestre de grossesse.

Tels sont donc les différents effets embryo-foetaux des rayons X en fonction des trois stades de la grossesse, étudions les maintenant selon les doses de rayons X reçues par l'embryon et le foetus.

2 - Effets des rayons X selon les doses reçues par le foetus :

Dans cette partie, nous nous heurtons donc au problème des doses reçues par le foetus.

BRENT (47) a établi une classification des agents tératogènes en 3 groupes :

- celui où l'effet tératogène est prouvé : il comprend 9 agents dont la rubéole, la toxoplasmose,...

- celui où cet effet est probable : il s'agit des radiations ionisantes entre le 10e et le 50e jour de grossesse et dont les doses sont supérieures à 50 rads.

- enfin celui où cet effet est improbable : dans ce groupe, BRENT place l'irradiation diagnostique à doses inférieures à 25 Rads.

Toutefois cet auteur s'empresse d'ajouter que chaque cas particulier doit être étudié séparément et non jugé sur des généralités. Et en particulier, il ne faut pas commettre l'erreur de confondre une malformation congénitale génétiquement transmise par le père ou la mère, avec une embryo-ou une foetopathie due à l'exposition aux rayons X.

Nous étudierons successivement, en fonction des doses reçues, le risque tératogène, le risque d'induction de leucoses et cancers et enfin le risque mutagène.

a) - Le risque tératogène :

La fréquence des malformations et leur gravité sont proportionnelles à la dose reçue par le foetus.

Les résultats des données de l'expérimentation animale ont été extrapolés à l'homme, mais ceci est difficile en ce qui concerne les faibles doses.

Pour RUGH (42), même après une exposition de 5 Rads, la fréquence de certaines malformations sérieuses paraît augmentée. Et l'on ne peut affirmer l'existence d'un seuil, surtout pour le très jeune embryon. TUBIANA (51) a écrit en 1963 que même quelques Rads pouvaient induire des anomalies, mais qu'"il est vraisemblable que pour 1 Rad, le risque est très faible."

On a vu précédemment que chez les rongeurs (9) :

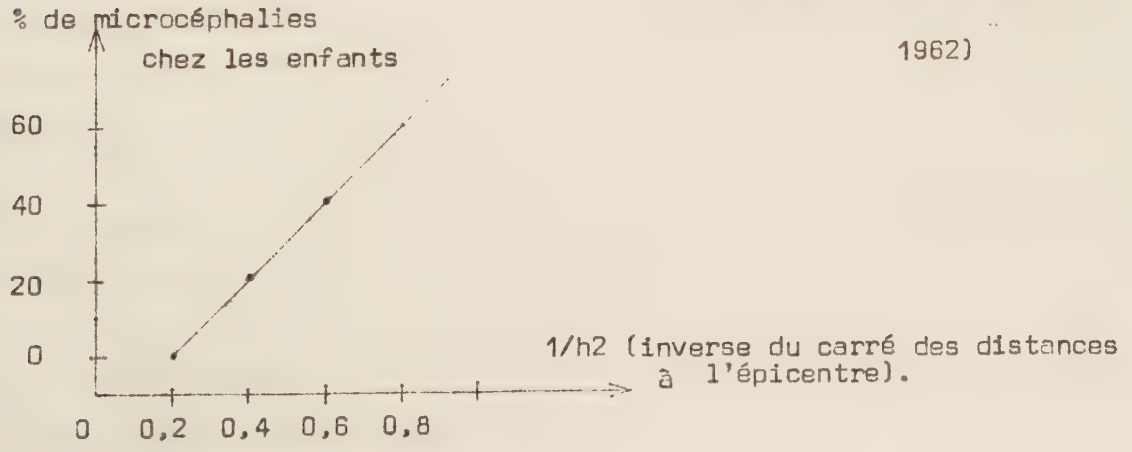
- 5 à 15 Rads peuvent alterer le développement de l'oeuf pendant la période de grande organogénèse et induire de nombreuses malformations touchant essentiellement le système nerveux central (RUGH et GRUPP, 1959).

- 25 rads pendant l'organogénèse induisent fréquemment des anomalies oculaires, et cérébrales (WILSON, 1952).

D'après P. de BELLEFEUILLE (5), la corrélation entre la dose reçue et l'intensité de l'effet tératogène est significative. Le rapport est linéaire à partir de 15 roentgen , c'est-à-dire : 13,5 Rads.

Ainsi pour la progéniture des mères exposées à la bombe de Hiroshima (1945) trouve-t-on un rapport très significatif entre les microcéphalies induites et les doses (inversement proportionnelles au carré des distances h à l'épicentre)(5).

(d'après P. de Bellefeuille, 1962)



YAMAZAKI ('59) écrit que l'exposition à des doses aussi faibles que 10 à 30 Rads pendant la morphogénèse précoce, pouvait provoquer des changements morphologiques, neurophysiologiques et comportementaux qui se manifestent après un temps de latence variable.

Pour BRENT (47) si les doses sont supérieures ou égales à 25 rads et suffisamment précoces, on observe presque obligatoirement une microcéphalie, un retard mental et des malformations squelettiques.

Au total, on peut bien sûr observer des enfants normaux à la naissance après irradiation in utero en début de grossesse, mais ces cas sont si rares qu'ils ont été publiés (ROBINSON : 23 cas, LACOMME : 2 cas, JONES et NEILL : 7 cas, HOBBS : 1 cas, APGAR et GAUSE : 1 cas). Encore faut-il ajouter que leur avenir lointain n'a pas été évoqué.

A l'inverse, d'autres auteurs relatentdes malformations induites par irradiation à faibles doses. Telles ces deux observations belges (1967)(12) : portant l'une sur une irradiation de 15 rads au 20e jour de la grossesse, l'autre sur une dose de 10 à 15 rads au 12e jour de la grossesse et ayant entraîné toutes deux chez les foetus des malformations gravissimes du système nerveux central.

Toutefois, ces prises de position méritant d'être nuancées. LEFEBVRE (26,27) estime qu'en fin de grossesse, pour une dose comprise entre 0,1 et 1,5 rad, le risque est très minime, par contre en tout début de grossesse, il existe des risques même pour des doses de 1 à quelques rads.

Pourtant il estime "logique de laisser la grossesse suivre son cours" pour une exposition inférieure à 25 Rads entre la 2e et la 6e semaines. Au contraire, lorsqu'elle dépasse 100 rads,il conseille l'avortement thérapeutique.

Pour les auteurs Danois (9) l'avortement est conseillé pour des doses foetales de 1 à 10 rads.Lorsque les doses dépassent 10 rads, il s'impose.

Enfin, les Américains BABSON et BENSON (3), estiment que 1 Rad est probablement inoffensif, que jusqu'à 10 Rads, les risques sont possibles, et qu'au-delà de 10

Rads, c'est surement dangereux et nuisible.

Pour en terminer avec cette étude du risque malformatif, nous rappellerons qu'à doses égales de rayons X, le foetus est beaucoup plus sensible à l'effet tératogène que ne le sont ses cellules germinales à l'effet mutagène, et nous nous souviendrons que RUGH a montré en 1960 - 61 (42) que dans la toute première embryogénèse, on ne peut fixer, aucun seuil et que même des doses foetales de l'ordre de 1 Rad sont susceptibles d'induire non seulement des morts in utero, mais aussi de graves malformations embryonnaires touchant avec prédilection le système nerveux central.

b) - Le risque d'induction de leucémies et cancers de l'enfant :

Pour l'estimation de ce risque, les diverses opinions varient,mais elles s'accordent toutes à dire que ce risque existe.

Pour Miss STEWART (48,49), qui la première a alerté les médecins sur ce sujet, une dose d'environ 5 Rads serait susceptible d'augmenter significativement le nombre de leucoses et cancers de l'enfant. Une dose de 3 Rads multiplierait par deux le risque leucémique (1956).

D'après une de ses enquêtes (49), sur 10^6 enfants irradiés in utero, à la simple dose de 1 Rad, il y a un excès de 300 à 800 décès par cancers avant l'âge de 10 ans par rapport aux témoins, le risque étant plus grand, lorsque l'exposition a lieu pendant la phase embryonnaire.

Miss STEWART a établi une courbe qui montre l'augmentation du risque de cancers par rapport au risque normal en fonction du nombre de clichés pratiqués pendant la grossesse.

Voir courbe page suivante (49)

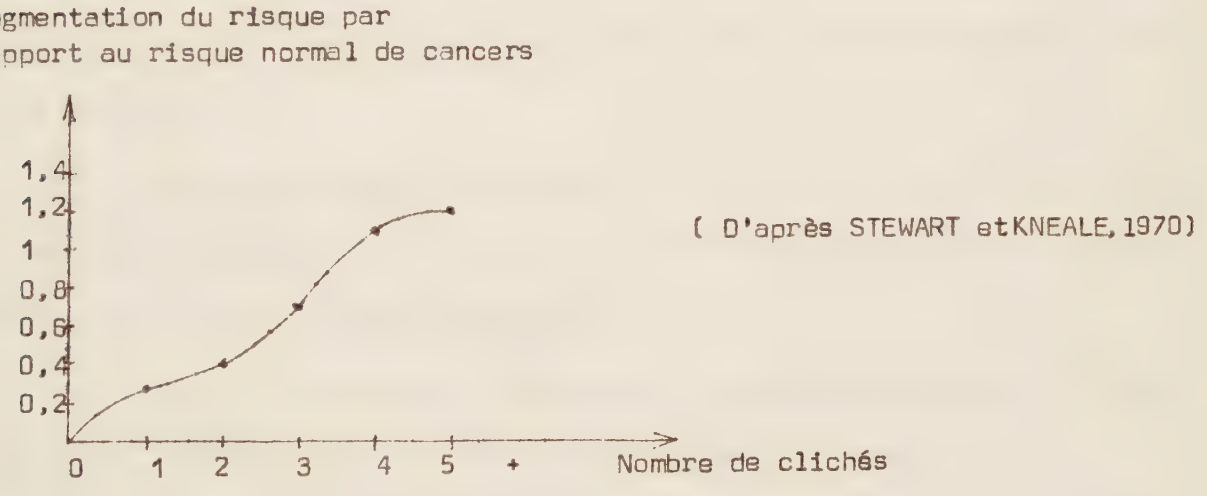
Il est également intéressant de noter l'induction de leucémies chez les survivants des bombes atomiques. Sur les courbes (5) on note un rapport linéaire significatif entre les doses et les effets. Et l'on considère probablement les

leucémies ainsi induites comme résultant de mutations somatiques.

Pour la Commission Internationale de Protection contre les Radiations (1966) le risque de cancers chez un foetus exposé à une dose de 1 rad est cinq fois plus grand que chez les témoins non exposés surtout si l'irradiation est précoce dans la grossesse.

L'enquête de LEJEUNE, TURPIN, RETHORE et MAYER (1960)(28) a montré que l'excès de maladies malignes chez les enfants irradiés in utero était significatif, quant au risque leucémique, il est probablement augmenté.

Selon LEWIS (19) une dose de 1 rad induit une probabilité de voir apparaître 2×10^{-6} leucémie. Enfin, TUBIANA (51), pense que la mortalité par cancer chez l'enfant est multipliée par 1,5 chez les irradiés in utéro.



(D'après STEWART et KNEALE, 1970)

Quant à l'augmentation de fréquence des leucoses, TUBIANA a écrit qu'il "est légitime de craindre, mais impossible d'affirmer qu'une irradiation in utero augmente la fréquence des leucémies". De toute façon pour des doses de quelques Rads, cette augmentation de fréquence serait de l'ordre de 1,5.

Au total, même de très faibles doses d'irradiation in utero font persister un risque même minime d'induction de cancers et leucoses chez l'enfant. L'opinion de nombreux auteurs concorde sur ce sujet.

c) - Le risque mutagène :

Une dose de 1Rad fait courir un risque de 1/400 mutation génétique.

Il faut bien dire que les généticiens sont pessimistes, en effet "l'effet progénétique est cumulatif, indélébile et transmissible de génération en génération" (13). Donc toutes les doses s'ajoutent et l'effet mutagène obtenu se transmet à la descendance, induisant ainsi un risque social de transmission de tare, à l'inverse des mutations somatiques dont le risque est purement individuel et disparaît à la mort du sujet.

On admet que la plus petite dose susceptible d'être nocive pour le foetus est de 9 à 14 rads et cela particulièrement en tout début de grossesse (13).

Ce qui est surtout dangereux, c'est de dépasser la dose qui double le risque de mutations spontanées, selon les auteurs, cette dose varie entre 12 et 130 rads pour 30 ans (d'après COURAY, 13) ou entre 30 et 80 rads pour 30 ans (d'après BLANCHE, 8).

Les hétérochromies segmentaires de l'iris, témoin presque pathognomonique de mutation génétique, se retrouvent dix fois plus souvent chez les enfants irradiés in utero que chez les témoins (28, 51).

On peut, penser que la fréquence des mutations nocives est augmentée dans la même proportion après des doses de quelques Rads (51).

TUBIANA (51) écrit même que "rien n'autorise à penser que ce retentissement est négligeable".

Cet effet mutagène serait incriminé dans l'augmentation de fréquence des avortements spontanés et dans l'altération de la proportion filles-garçons dans la progéniture des sujets exposés.

Au total, même une dose de 1 Rad fait courir un discret risque mutagène au foetus irradié in utero, mais en fait, le danger existe surtout à partir de

9 à 15 rads, et en particulier pour les doses qui doublent le risque de mutations spontanées.

Après avoir étudié en détail les effets des différentes doses de rayons X appliquées à l'embryon, puis au foetus, nous allons tenté de déterminer quelles sont les doses foetales reçues lors des examens de radiodiagnostic pratiqués au cours de la grossesse.

oOo

VII - DOSES DE RAYONS X RECUES PAR LE FOETUS AU COURS DU RADIODIAGNOSTIC

Nous entrons maintenant dans le vif du sujet : l'étude des doses de rayons X réellement reçues par le foetus au cours du radiodiagnostic, c'est-à-dire au cours de l'utilisation de faibles doses de radiations ionisantes.

Mais nous voyons immédiatement que le terme même de "faibles doses" est mauvais, car suivant les disciplines, il peut être interprété différemment. Pour le radiothérapeute, il s'agira de 200 rads, pour le cytologiste de moins de 22 Rads (dose pour laquelle la moitié des spermatogonies exposées sont détruites), pour l'hématologue ce sera 12 Rads (dose pouvant créer une lymphopénie en 2 heures). Le clinicien, lui expliquera que c'est une dose ne dépassant pas 5 rads, et enfin, pour le généticien, cela peut se résumer à 1 ionisation unique, à partir du moment où elle est susceptible de provoquer une mutation.

Ce terme, aux multiples définitions peut dont prêter à confusion et nous lui préférons celui de "dose admissible" dont nous avons déjà parlé et que TUBIANA (51) définit "comme n'étant pas la dose pour laquelle il n'existe aucun risque mais celle pour laquelle les risques deviennent négligeables en regard des autres risques de la vie quotidienne".

Les Anglo-Saxons la dénomme MPD "Maximum Permissible Dose", c'est la dose maximalequ'un organisme ou un organe peut recevoir durant une période déterminée sans qu'apparaissent de lésions morphologiques ou fonctionnelles 5'è°.

La Commission Internationale de Protection contre les Radiations a estimé uniquement du point de vue du risque génétique la dose maximale admissible à 5 rads pour 30 ans, pour l'ensemble de la population. Ce chiffre est du même ordre que celui de l'irradiation naturelle liée, aux rayons cosmiques, telluriques, et autres et qui est d'environ 0,1 à 0,15 rad par an. Ainsi la limite tolérable est représentée par la dose qui double celle des radiations naturelles, pendant le même temps. Toutefois, ce chiffre ne tient pas compte des actes de radiologie médicale, mais en tout cas, il donne un ordre de grandeur à éviter de dépasser.

Cette même commission estime que le foetus ne devrait pas recevoir plus de 1 Rad au cours de toute sa vie intra-utérine.

Enfin, un autre auteur (KEPP) parle de "doses de sécurité" à ne pas dépasser qui sont définies ainsi : 4I rads pour un embryon de 1 mois; 90 rads pour 2 mois; et 720 à 780 rads en fin de gestation. Il s'agit d'un seuil de tolérance (8).

Toutes les doses de rayons X reçues par le foetus in utero doivent donc se situer en deça de certaines valeurs-seuils; bien déterminées et quelquefois différentes selon les auteurs. Ainsi donc les études de dosimétrie se trouvent-t-elles au coeur du problème et il apparaît logique d'en tenter l'approche.

Nous étudierons d'abord les doses reçues lors des examens de radiographie non obstétricale, puis les doses reçues lors du radiodiagnostic obstétrical, et surtout des différentes incidences de radiopelvimétrie; enfin dans chaque partie, nous expliquerons les résultats en insistant sur les doses dangereuses, les incidences à supprimer et l'existence éventuelle de seuils de doses.

A - DOSES FOETALES RECUES LORS DES EXAMENS RADIOGRAPHIQUES NON OBSTETRICAUX

Pour cette étude précise, et contrairement à la suivante qui concernera le radiodiagnostic obstétrical, il faut bien avouer que la littérature est pauvre, ce qui étonnera peu car il est, en effet, assez rare que l'on radiographie volontairement et systématiquement les femmes enceintes, surtout en début de grossesse.

Toutefois, soit que la grossesse soit totalement ignorée (lacunes de l'interrogatoire, ou survenant en période d'aménorrhée ou de métrorragies), soit que l'urgence médicale ou chirurgicale prime il arrive, et même assez fréquemment que des femmes enceintes soient radiographiées. Parfois de nombreux clichés ou des examens itératifs exposent la région abdomino-pelvienne.

Lors de leur enquête de 1960 sur les effets somatiques de l'irradiation foetale in utero, LEJEUNE, TURPIN, RETHORE et MAYER (28) avaient recensé cinq types d'examens pratiqués fréquemment en cours de grossesse ainsi que pour chacun d'eux le nombre de clichés pris : il s'agissait de :

- Rachis lombo-sacré (ou bassin) : 2 ou 3 clichés
- Urographie intra veineuse : 5 à 8 clichés
- Lavement baryté : 5 à 8 clichés
- Vésicule biliaire : 3 à 5 clichés
- Transit gastro-duodénal : 5 à 8 clichés.

Plus rarement; il peut s'agir d'un transit du grêle; quant à l'hystérosalpingographie (!), qui théoriquement ne devrait être pratiquée qu'après avoir formellement éliminer une grossesse (1ère partie de cycle, courbe ménothermique, voire réactions de grossesse de sécurité), expose également beaucoup l'embryon aux risques de l'irradiation, lorsqu'elle n'interrompt pas d'emblée la grossesse.

L'étude sera fractionnée en deux parties, selon que le foetus se trouve ou non dans le champ d'irradiation.

1 - Le foetus n'est pas dans le champ d'irradiation :

Dans ce cas, l'incidence, le temps de pose et les diverses constantes radiologiques intérviennent peu, et d'après LEFEBVRE (26) la dose reçue par le foetus est 100 fois moins importante que s'il se trouvait dans le champ d'irradiation.

Cet auteur estime que le foetus reçoit environ 0,001 à 0,004 rad par cliché radiographique et 0,01 à 0,04 rad par minute de scopie.

Ce sont donc des doses négligeables à condition que l'abdomen maternel soit

protégé du rayonnement direct par des caches de plomb.

a) - Clichés des membres, du crâne, du rachis cervical

Pour les clichés des membres : on considère ici les extrémités, les membres supérieurs en entier jusqu'aux épaules; mais les membres inférieurs seulement jusqu'aux genoux. On exclut les cuisses,les hanches et le bassin.

Le rayonnement primaire ne rencontre pas par conséquent l'abdomen maternel qui doit être protégé.

PAPE ET ZAKOVSKY (38) considèrent alors la dose foetale comme le 1/1000 de la dose d'entrée soit en règle :

moins de 0,001 rad par cliché.

Au total, pour ces examens et à condition de limiter la scopie et de protéger l'abdomen maternel, les doses foetales sont négligeables.

b) - Clichés des organes thoraciques :

Les auteurs précités (PAPE et ZAKOVSKY, 1964) estiment que pendant la première moitié de la grossesse la dose foetale pour ces examens -ci est identique à la dose reçue par les ovaires maternels. Dansla deuxième moitié de la grossesse, le foetus ascensionne, se rapproche du thorax et il reçoit donc plus de rayons X que les ovaires maternels.

Ces auteurs n'abordent ensuite que l'étude de la dose reçue par les gonades foetales. Celle-ci est proportionnelle à la profondeur où les gonades sont situées et à leur distance par rapport au bord du rayonnement primaire.

Ainsi, à 10 cm de profondeur, il ne reste que 10 % de la dose d'entrée, et par rapport au bord du rayonnement primaire, à 3 cm: il reste 20 à 25 % des doses à 5 cm : 10 à 15 % et enfin à 10 cm : 4 % seulement.

Prenons un exemple : cliché de poumon ou coeur, avec une dose d'entrée de 0,1 rad, à 10 cm de profondeur, il restera 0,01 rad et en fonction du bord du faisceau primaire :

- à 3 cm : il restera 0,0025 rad

- à 5 cm : il restera 0,0015 rad.

Si la dose d'entrée était de 1 rad, on aboutirait respectivement à 0,025 et 0,015 rad.

Ce sont en définitive des doses tout à fait négligeables, avec toujours la réserve que l'abdomen maternel soit protégé.

En cas de scopie : si elle est pratiquée dans de bonnes conditions :

- bonne adaptation à l'obscurité,
- écrans de bonne qualité
- petite surface de champ
- forte tension,
- nombreux filtres,
- temps de scopie limité.

Alors les doses foetales sont là aussi négligeables.

Au total quel que soit l'examen radiographique pratiqué à partir du moment où le foetus se trouve hors du champ d'irradiation, où l'abdomen de la mère est protégé et où les conditions techniques sont bonnes, les doses reçues par le foetus peuvent être considérées comme négligeables.

2 - Le foetus se trouve dans le champ d'irradiation

La grossesse n'est pas toujours connue, et, de plus, il s'agit fréquemment du 1er trimestre. Ce sont des examens de radiographie viscérale, de la région abdomino-pelvienne, ou osseuse : rachis lombo-sacré ou bassin.

D'après LEFEBVRE (26), le foetus recevrait environ : 0,1 à 0,4 rad par cliché et 1 à 4 rads par minute de scopie.

Pour PAPE et ZAKOVSKY (38) la dose foetale serait légèrement moindre : comprise entre 0,05 et 0,1 rad par cliché radiographique.

Pour MALINAS (54), l'irradiation serait encore plus faible, à savoir 0,01 rad par cliché abdominal.

De toute façon, c'est la scopie qui expose le plus et le plus vite. Dans les six premiers mois; les doses foetales correspondent environ à 10 % des doses d'entrée, ensuite à 25 %.

Rappelons enfin que ces doses peuvent être diminuées par les incidences postéro-antérieures favorables au foetus, protégé par le squelette maternel, et augmentées par les incidences latérales.

On remarque donc, d'après ces chiffres que pour obtenir une forte dose foetale, il faudrait au moins dix minutes de scopie et de nombreux clichés (8 à 10) c'est ce qui arrive parfois (26, 36).

Les examens les plus dangereux pour le foetus sont l'urographie, le transit du grêle et le lavement baryté. Sans oublier (à titre indicatif) l'hystérographie, sensée ne jamais être pratiquée chez une femme enceinte.

a) - Clichés de rachis lombo-sacré ou de bassin :

En général, 2 à 3 clichés sont pratiqués, voici les doses foetales (Rd) calculées, d'après les différents auteurs et en fonction du nombre de clichés :

Auteurs	2 clichés	3 clichés
J. LEFEBVRE	0,2 à 0,8	0,3 à 1,2
PAPE et ZAKOVSKY	0,1 à 0,2	0,15 à 0,3
Y. MALINAS	0,02	0,03

Donc des doses variant entre 0,02 et 1,2 rad.

b) - Urographie intraveineuse :

Selon LEJEUNE et TURPIN (28) elle comporte en général 5 à 8 clichés. Mais on peut être amené à faire des tomographies en supplément.

Ces clichés se répartissent ainsi :

- 1 cliché sans préparation
- 4 à 5 clichés minutés
- ± 1 à 2 clichés de vessie.

Les doses foetales seraient celles-ci :

Auteurs	5 clichés	8 clichés
J. LEFEBVRE	0,5 à 2	0,8 à 3,2
PAPE et ZAKOVSKY	0,25 à 0,5	0,4 à 0,8
COURAY 1956 (13)	0,067	0,157
Y. MALINAS	0,05	0,08

Soit des doses foetales variant entre 0,05 et 3,2 Rads selon les auteurs et le nombre de clichés.

c-) Lavement baryté :

Il comporte généralement 5 à 8 clichés parfois 10, comprenant :

- 1 cliché sanspréparation
- 1 grand cliché d'ensemble de face
- 2 clichés de rectum : F et P
- 1 cliché du sigmoïde
- 1 cliché d'angle colique droit
- 1 cliché d'angle colique gauche
- 1 cliché de coecum

Voici les doses foetales d'après les différents auteurs :

Auteurs	5 clichés	8 clichés
J. LEFEBVRE	0,5 à 2	0,8 à 3,2
PAPE et ZAKOVSKY	0,25 à 0,5	0,4 à 0,8
Y. MALINAS	0,05	0,08

Les doses foetales varient donc pour un lavement baryté entre 0,05 et 3,2 rads, suivant les auteurs.

d) - Cholécystographie :

L'exploration de la vésicule biliaire comporte 3 à 5 clichés. Les doses foetales se répartissent ainsi :

Auteurs	3 clichés	5 clichés
J. LEFEBVRE	0,3 à 1,2	0,5 à 2
PAPE et ZAKOVSKY	0,15 à 0,3	0,25 à 0,5
Y. MALINAS	0,03	0,05

Au total, des doses comprises entre 0,03 et 2 rads.

e) - Transit gastro-duodénal :

Il comporte environ 5 à 8 clichés, ce sont :

- estomac face, profil et trois-quart
- 2 séries centrées sur le bulbe
- un cliché d'ensemble.

Les doses foetales se répartissent ainsi :

Auteurs	5 clichés	8 clichés
J. LEFEBVRE	0,5 à 2	0,8 à 3,2
PAPE et ZAKOVSKY	0,25 à 0,5	0,4 à 0,8
Y. MALINAS	0,05	0,08

soit au total des doses comprises entre 0,05 et 3,2 rads.

f) - Transit du grêle

comporte en général 5 à 6 clichés minutés, toutes les 30 minutes, puis toutes les heures.

Les doses foetales seraient :

Auteurs	5 clichés	6 clichés
J. LEFEBVRE	0,5 à 2	0,6 à 2,4
PAPE et ZAKOVSKY	0,25 à 0,5	0,3 à 0,6
Y. MALINAS	0,05	0,06

donc, les doses foetales varient ici entre : 0,05 et 2,4 rads.

g) - L'hystérosalpingographie (!)

qui ne devrait jamais se voir chez une femme enceinte, comporte environ sept clichés.

Les doses foetales seraient :

Auteurs	7 clichés
J. LEFEBVRE	0,7 à 2,8
PAPE et ZAKOVSKY	0,35 à 0,7
Y. MALINAS	0,07

Donc des doses variant entre 0,07 et 2,8 rads.

En conclusion, lorsque le foetus se trouve dans le champ d'irradiation, c'est-à-dire lors des radiographies abdomino-pelviennes; avec ou sans préparation, les doses foetales de rayons X sont très variables suivant les auteurs, les calculs faisant apparaître un chiffre maximum de 3,2 rads, qui ne peut pas être, considéré comme négligeable, surtout si l'irradiation survient, comme cela arrive le plus souvent dans le premier trimestre de la grossesse, et particulièrement de la 2e à la 6e semaine.

B - DOSES FOETALES RECUES LORS DU RADIODIAGNOSTIC OBSTETRICAL

Pour commencer, il faut dire que les études de dosimétrie qui, théoriquement, ne devraient poser que des problèmes physiques aisés à résoudre, ne sont en réalité pas si simples à mener : la facilité des mesures n'est qu'apparente et suivant les

diverses techniques utilisées, de nombreuses causes d'erreurs existent et les doses foetales résultantes, mesurées directement ou obtenues par calculs, subissent ainsi des variations, en fonction des différents auteurs qui les ont publiées. Elles peuvent varier du simple au double, voire même au décuple, ce qui n'a pas simplifié notre analyse.

OSBORN et SMITH (31) ont estimé que 29 % des doses de radiodiagnostic pouvant avoir un retentissement génétique provenait des examens obstétricaux, ce qui n'est pas négligeable et nous incite à étudier ces doses avec plus d'intérêt encore.

Le radiodiagnostic obstétrical n'est pas pratiqué dans la première moitié de la grossesse du fait d'une part de son peu d'intérêt à cette époque, d'autre part, des trop grands risques qu'il fait courir au foetus. Il n'est donc pratiqué que dans la deuxième partie de la grossesse, et en général après le 6e mois. Son intérêt est immense et ses indications, bien posées, sont nombreuses. C'est pourquoi de très nombreux foetus sont exposés à l'irradiation in utero à la fin de la grossesse et c'est pourquoi il nous a paru intéressant d'étudier les doses de rayons X, liées au radiodiagnostic obstétrical, qui comprend :

- la radiographie foetale (ou contenu utérin)
- la radiographie placentaire (ou placentographie)
- la radiopelvimétrie.

1 - La radiographie foetale ou examen du contenu utérin :

D'après MAGNIN (31), elle représente la moitié des examens de radiodiagnostic obstétrical. On la pratique dans les deux derniers mois de la grossesse, ce qui limite les risques au maximum.

a) - Ses indications :

Sont posées pour le diagnostic de :

- grossesse multiple
- malformation foetale
- présentation à déterminer
- mort in utero

- degré de maturité foetale

- grossesse prolongée

Les indications sont donc multiples et légitimes dans tous les cas où l'exploration clinique est difficile ou douteuse.

b) - Ses incidences :

On peut en utiliser deux : le cliché de face et celui de profil.

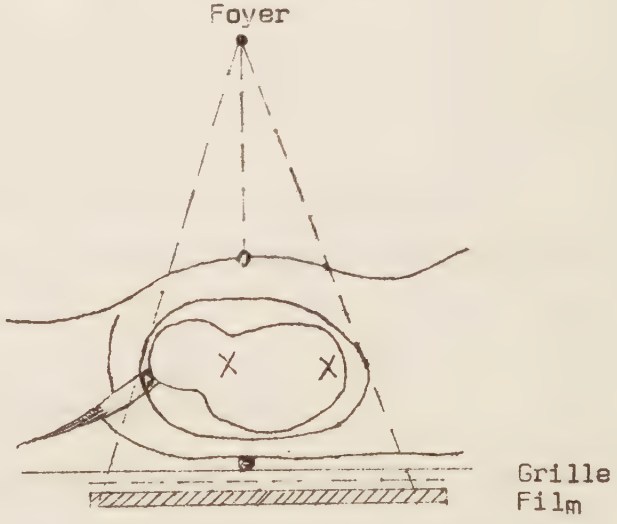
La plus habituelle : est celle de face en postero-antérieur, procubitus ou debout.

Le cliché de profil, en décubitus latéral est moins utilisé.

c) - Techniques de mesures

Les détails concernant les mesures n'ont été retrouvés que dans la publication de GROS, WEILL et BURGY (19) :

- les mesures sont faites en plaçant un dosimètre Massiot à chambre d'ionisation en divers points accessibles.
- peau : point central d'entrée
- peau : point de sortie du rayonnement,
- cul-de-sac vaginal postérieur.



. doses mesurées
x doses obtenues par calcul

(d'après WEILL, GROS et BURGY, 1960)

Les doses au foetus et à ses gonades sont déduites par calcul des doses mesurées au dosimètre

d) - Les résultats

Voici un tableau comparatif des résultats obtenus par différents auteurs. On y trouvera d'une part les doses cutanées d'entrée et de sortie et les

doses foetales,d'autre part les différentes constantes radiologiques au moment de la prise des clichés. (voir tableau page suivante).

Remarques : il n'est pas possible de tirer de ce tableau trop pauvre, des notions statistiques valables.

Toutefois on notera que :

1 - l'incidence de face est la règle, une seule fois on a des résultats concernant un profil.

2 - les doses foetales sont toujours inférieures à 1 rad; la dose maximale obtenue étant 0,25 rad (et c'était en profil..) la dose moyenne pour l'incidence de face est de 0,137 rad.

3 - Les doses foetales sont très abaissées dans les mesures de WEILL, GROS et BURGY en 1967, grâce à l'utilisation de tensions élevées, ce qui permet de réduire considérablement les mAs.

e) - En conclusion :

D'après divers auteurs, la dose de rayons X reçue par le foetus au cours d'examens du contenu utérin, est très faible et n'atteint jamais 1 rad. Les risques sont donc très minimes.

3 - La radiographie placentaire ou placentographie directe :

Son emploi tend à se restreindre du fait de l'essort des techniques nouvelles (scintigraphie,ultrasonoscopie, thermographie), malgré tout c'est un examen qui demeure très utilisé. Il est basé sur la technique dite "des tissus mous", c'est-à-dire des rayons peu pénétrants. D'autre part cet examen nécessite l'emploi de filtres spéciaux "égalisateurs" et de la tireuse électronique : Logetron.

a) - Ses indications

- surtout lorsque l'on soupçonne une insertion basse du placenta (placenta praevia).

Auteurs	Incidences	Dose entrée en rad	Dose sortie en rad	Dose foetale	KV	mAs	Grille	Distance foyer-film
BEWLEY 1957	Face,procub.	1,3		0,15	99	50	1/10	
WEILL,GROS 1959	Face,procub.	2	0,03	0,11	100	75	1/16	
MAGNIN 1959	Face,post.-ant.			0,15	120			0,9 à 1m
	Profil			0,25	120			0,9 à 1 m
BEWLEY, LAWS 1960	Face,procub.			0,14	99	50		1 m
WEILL,GROS 1967	Face,proc.	0,116	0,015	0,04	130	12	1/10	
	Face,proc.	0,06	0,015	0,025	130	6	1/10	

- mais aussi avant d'effectuer une amniocentèse,
- ou bien si l'on envisage une transfusion in utéro : c'est plus rare.

Dans tous ces cas, la localisation précise du placenta est nécessaire.

b) - Les incidences :

On a intérêt à ne pas trop les multiplier, si on veut limiter au maximum l'irradiation foetale.

On en utilise deux, habituellement :

- l'abdomen de face, en procubitus (postero-antérieur) ou debout,
- l'abdomen de profil, debout.

c) - Les techniques de mesures

sont les mêmes que pour la radiographie foetale.

d) - Les résultats

Le tableau suivant résume les résultats des études dosimétriques de plusieurs auteurs. (voir tableau page 58).

Remarques :

1 - On voit que les doses foetales sont toujours inférieures à 1 rad, toutefois avec des rayons mous , le résultat atteint 0,87 rad pour un seul cliché, ce qui n'est pas à négliger.

2 - D'autre part, on notera que lorsque les doses aux gonades foetales ont été calculées, elles sont constamment supérieures aux doses foetales moyennes pour les mêmes examens.

3 - Enfin pour comparer, voici l'irradiation foetale obtenue lors de localisations placentaires radioisotopiques : (17,39).

- pour 20 microcuries de chrome 51: entre 0,002 et 0,008 Rad
- pour 1 millicurie de technetium 99 : doses variant entre 0,005 et 0,016 et 0,05 rad,
- pour l'indium 113 : entre 0,015 et 0,025 rad.

Auteurs	Incidences	Dose d'entrée	Dose de sortie	Dose foet. en rad	Dose aux gonad.foet.	kV	mAs	Filtres	Distance foyer-film
BEWLEY, LAWS, 1960	1 ou 2 clichés			0,23 à 0,37		99	50		1m
GROS,	Face proc.	2,35	0,023	0,235	0,376	130	90ou75		1m
WEILL	Prof.debout	0,42	0,023	0,047	0,094	130	225	30,15	1m
BURGY, 1960	Total	2,77		0,282	0,470	130		ou 0 A1	
DUVAL et NOUEL 1972	1 cliché simple			0,026à0,13					
	cliché + Logetron			0,22à 0,35		rayons		+	
	1 cliché			0,87		mous			

e) - Conclusion

l'irradiation foetale n'atteint jamais 1 rad, lors de la placentographie directe, toutefois l'exposition est beaucoup plus importante que lors de localisations isotopiques. C'est pourquoi cet examen se restreint de plus en plus car il expose trop le foetus par rapport aux nouvelles techniques.

3 - La radiopelvimétrie

Cet examen se pratique, en principe, au début du 9e mois, en tout cas, toujours en fin de grossesse.

a) - Ses indications

sont variées, mais doivent être correctement posées. Schématiquement, ce sera :

- chez la primipare, si la présentation céphalique n'est pas fixée ou engagée à la fin du 8e mois;
- chez la primipare, si la présentation est en siège en fin de grossesse,
- si cliniquement, un diamètre du bassin est diminué, que cela soit évident ou suspecté,
- chez les primipares agées et les femmes traitées pour stérilité,
- chez les multipares à antécédents de dystocie inexpliquée.

En général; il s'agit presque toujours de cas ou l'on craint une dystocie mécanique par disproportion foeto-pelvienne.

b) - Les incidences

Toutes les techniques de radiopelvimétrie réalisent la prise d'au moins deux clichés :un de face, un de profil, certaines en comportent même un troisième : celui de l'arcade pubienne.

- Le cliché de face

est celui du détroit supérieur. Sa connaissance est primordiale, en obstétrique. C'est pourquoi c'est le cliché le plus important.

Ce cliché peut être pris :

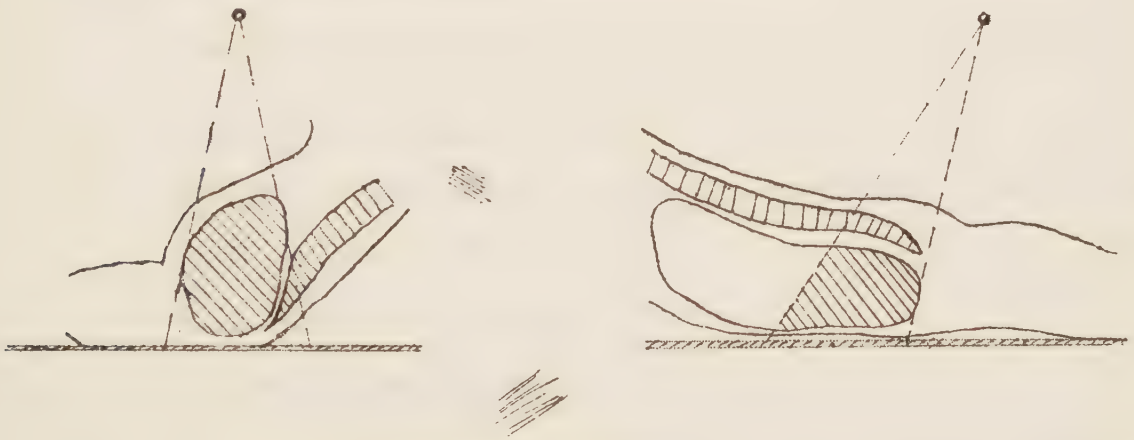
- d'avant en arrière

. soit sur la femme en position demi-assise : c'est la technique de THOMS (ou d'ALBERT) : le tube à rayons X est placé à la verticale au dessus de l'abdomen, le faisceau primaire couvre tout l'utérus gravide.

. soit sur la femme en décubitus.

- d'arrière en avant

sur la femme en procubitus, redressant son thorax, seules la tête et la partie supérieure du tronc du foetus sont irradiés, si la présentation est céphalique. Le tube est au dessus et en arrière des fesses. Le centrage se fait sur le coccyx (technique de MAGNIN).



Irradiation foetale

Technique de Thoms

Technique de MAGNIN

Le cliché de profil

Se fait de profil strict, sur la femme debout, avec un cône localisateur. Parfois il est pratiqué en décubitus latéral. L'épaisseur des plans à traverser est sensiblement la même.

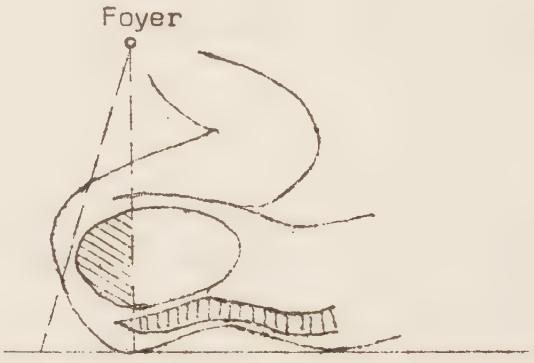
Le cliché de l'arcade pubienne

peut être pris :

- d'arrière en avant : suivant la technique de Chassard et Lapiné, à travers l'épaisseur du bassin sur la femme assise et penchée en avant,

- d'avant en arrière : c'est l'incidence la plus employée. La femme est en décubitus, les cuisses écartées et fléchies (technique de Rosa).

Seule la partie la plus déclive de la présentation est comprise dans le faisceau du rayonnement primaire.



Technique de ROSA

c) - Les techniques de mesures

Elles varient suivant les auteurs. En voici deux exemples :

- GROS, WEILL et BURGY (19)

ont placé un dosimètre à chambre d'ionisation aux points accessibles :

- peau au point d'entrée,
- peau au point de sortie
- cul-de-sac vaginal postérieur.

Ensuite les doses au foetus et à ses gonades ont été déduites par calcul (par exemple : on considère que le foetus se trouve à 15 à 20 cm sous la peau dans l'incidence de Thoms).

- BEWLEY, LAWS, et MYDDLETON (7) ont construit des moules de plastique reproduisant le tronc et le bassin de femmes enceintes près du terme. Ils y ont placé en divers points des chambres d'ionisation BALDWIN. Les doses foetales étaient ainsi mesurées. Ils ont estimé que les gonades foetales se trouvent à 7 cm de profondeur en présentation céphalique et au niveau du détroit supérieur en cas de siège.

d) - Les résultats :

seront exprimés dans le tableau complet qui va suivre. On y remarquera de nombreuses différences qui ne sont pas seulement dues aux incidences utilisées et à la multiplicité des précédés de radiopelvimètrie.

Elles tiennent également à la façon de mesurer les doses (air, fantomes, chambres d'ionisation vaginale, moulages...) et aux pénétrations utilisées. En effet, la dose diminue proportionnellement à la pénétration, selon la formule suivante :

$$E = \frac{mA \times S \times V}{F^2} \qquad (8)$$

ou E = est l'énergie nécessaire à la formation de l'image,

mA l'intensité du courant

S le temps

V varie avec la tension primaire

F^2 le carré de la distance foyer-film.

C'est pourquoi dans le tableau général suivant, nous préciserons toujours les constantes radiologiques : mAs , tension en KV, distance foyer-film en m, grilles..

Et avant d'exposer les résultats, nous citerons juste un résultat des études de PIZON (39) sur les radiopelvimétries complètes faites entre 1948 et 1958: l'irradiation foetale totale variait entre 1,5 et 3 rads.

Voici maintenant les résultats : voir pages 63 et 64.

Auteurs	Incidences	Dose d'entrée en rad	Dose foet. en rad	Dose aux gonad.foet.	KV	mAs	Distance foyer-film	Grille	Remarques
RITTER	postéro-Ant	5	0,4		65	300			
	latérale	26,7	1,3		78	780			
	Thoms	14	0,9		75	420			
BERMAN	Latérale		1,2						
	Détroit sup.		0,4						
	Détroit inf.		0,4						
OSBORN	Latérale	120	6		80	400			
	Thoms	50	3		80	400			
	Latérale	120	30		80	400			Présentation céphalique
	Thoms	50	15		80	400			
STANFORD	Latérale	8	0,4		84	400			
	Latérale	20	1		84	750			
	Thoms	16	1		84	600			
	THOMS	30	1,8		84	1200			
	Latérale		2		84				Présentation céphalique
	Latérale		5		84				
	Thoms		5		84				
	Thoms		7		84				
BEWLEY	Latérale	5,8	0,1		120	75			
	Thoms	11,5	2,8		120	130			
	Détroit inf.	2,6	0,5		108	75			
CLAYTON	Thoms		3		80	400			Gonades en dehors ray^{t} primaire
BEWLEY 1957	Thoms	11,5	0,2 (?)		120	130		1/10	
	Profil	5,8	0,2 (?)		120	75		1/10	
BEWLEY, LAWS et MYDDLETON	Thoms		0,8	2,8 à 4,6	100		1m		
	Détroit inf.		0,1	0,01 à 0,02	100		1 m		
	Procubitus		0,15	0,12 à 0,17	100		1m		
	Profil		0,25	0,06 à 0,14	100		1 m		

Auteurs	Incidences	Dose d'entrée(rad)	Dose sortie(rad)	Dose foetale	Dose gonades foetal.	kV	mAs	Distance foyer-film	Grille	Remarque
WEILL GROS et coll. 1959	Thoms Thoms Profil Profil	1,8 1,1 9,5 4,5	0,025 0,025 0,025 0,025	0,12 0,1 0,24 0,3		100 100 100 100	90 75 450 160		1/16 1/16 1/16	
MAGNIN 1959	Thoms Profil Détr. inf.			0,8 0,3 0,1		120 120 120		0,9 à 1 m 0,9 à 1 m 0,9 à 1 m		
BEWLEY LAWS et MYDDLETON 1957	Profil Arcad.pub. Thoms Thoms Procubitus Procubitus Procubitus Procubitus Procubitus Procubitus	10,81 0,94 1,97 1,50		0,28 néglig. 0,28 0,085 0,13 0,1 	0,18 3,1 0,037 0,018 0,085 0,018 0,13 0,1	120 120 120 120 120 81 81 81 81	75 130 130 22,5 22,5 120 120 200 200	0,9 m 0,91 m 0,91 m 0,91 m 0,91 m 0,91 m 0,91 m 1,15 m 1,15 m		Présentation Siège Sommet Siège Sommet Siège Sommet Siège Sommet Siège
GROS WEILL et BURGY 1960	Thoms Profil stric. Rosa Total (3 cl)	1,97 6,58 1,88 10,43	0,023 0,018	0,188 néglig. néglig. 0,188	0,564 néglig. Néglig. 0,564	130 130 130	120ou90 600ou450	1,20 m 1,20 1 m	1/16 1/16 1/16	Cones localisateurs
CLAYTON FARMER et coll.	Thoms DS en decub. Profil Détr.inf. Procubitus			1,1 0,47	3 néglig. 0,1 néglig. 0,03					
WEILL; GROS et coll.1967	Thoms Profil Profil	0,16 0,55 0,28	0,015 0,015 0,015	0,03 0,08 0,045		130 130 130	16 32 24		1/10 1/10 1/10	

Remarques :

1 - La bibliographie concernant la radiopelvimétrie est beaucoup plus riche que pour tous les autres examens de radiodiagnostic. Toutefois; étant donné sa diversité, il est assez difficile d'en faire la synthèse.

2 - On note que deux incidences seulement exposent le foetus, à des doses supérieures à 1 rad : l'incidence latérale et celle de Thoms, les chiffres peuvent d'ailleurs être très élevés.

3 - Pourtant certains auteurs ont obtenu avec ces mêmes incidences des doses tout à fait minimes (BEWLEY 1957; WEILL; GROS et coll. 1959 et 1967; GROS, WEILL et BURGY 1960).

4 - Toutefois même lorsque la dose foetale est minime dans l'incidence de Thoms, la dose aux gonades foetales est, elle, beaucoup trop élevée, car les gonades foetales se trouvent directement exposées au rayonnement primaire lorsque la présentation est céphalique. Ces doses dépassent toujours 3 rads et font donc courir au foetus un risque mutagène qui n'est pas chiffrable, mais qui est trop important.

5 - On notera que pour les clichés du détroit supérieur, on obtient toujours des doses convenables avec l'incidence en procubitus. Par rapport à l'incidence de Thoms, les doses sont très nettement diminuées.

6 - Pour des constantes radiologiques identiques, la dose la plus faible est obtenue avec la tension la plus élevée. L'emploi de tensions élevées permet de réduire les mAs de façon considérable.

7 - Pour une même incidence et des constantes semblables, la dose foetale est plus faible si l'on augmente la distance foyer-film.

e) - Conclusion :

Pour diminuer les doses foetales liées à la radiopelvimétrie; il faut utiliser des tensions élevées et de grandes distances foyer-film; il faut réduire au maximum

le nombre de clichés (deux ou trois) en étant strict sur la bonne technique radio logique pour éviter d'avoir à les recommencer plusieurs fois.

Enfin, à notre avis, malgré ce qu'en pensent certains auteurs, mais en accord avec MAGNIN (31) il nous semble préférable de proscrire l'incidence de Thoms qui irradie trop le foetus, et particulièrement ses gonades s'il est en présentation céphalique.

oOo

VIII - MESURES A PRENDRE POUR DIMINUER L'IRRADIATION FOETALE

Nous venons donc de voir qu'il n'est pas facile d'évaluer les doses de rayons X reçues par le foetus au cours des examens radiologiques et qu'il n'est pas non plus aisé d'en tirer des conclusions formelles.

Toutefois un certain nombre de mesures peuvent être prises à titre systématique pour diminuer au maximum les risques embryo-foetaux de l'exposition aux Rayons X.

On peut ainsi agir sur plusieurs facteurs :

- les facteurs physiques et photographiques, liés aux diverses techniques radiologiques,
- les facteurs cliniques et psychologiques liés aux indications du radiodiagnostic.

Car il est faux de dire que le risque foetal des rayons X est un problème de la femme enceinte un fait, c'est un problème de la FEMME "tout court", en période d'activité génitale.

Après avoir détaillé les facteurs sur lesquels on peut agir directement, nous dirons un mot du cas de la femme enceinte qui a été radiographiée, à un moment quelconque de sa grossesse.

A ACTION SUR LES FACTEURS PHYSIQUES ET PHOTOGRAPHIQUES

Nous allons les rappeler brièvement, car nous les avons déjà exposés lors de l'étude des notions de biophysique et radiobiologie des rayons X.

Outre l'éducation fondamentale du personnel médical et technique des services de radiologie, il s'agit de diminuer les doses en agissant sur :

1 - La distance foyer-film

Plus elle sera grande, plus la dose sera diminuée, puisque les doses sont inversement proportionnelles au carré des distances.

2 - La tension de l'installation

En utilisant des tensions élevées (environ 120 ou 130 KV) on peut diminuer les mAs de manière très appréciable, ce qui réduit les doses absorbées.

3 - Le temps de pose ou de scopie :

en limitant au maximum le nombre de clichés et en s'efforçant de ne pas utiliser la scopie trop longtemps. Seul l'amplificateur de brillance permet de ne pas trop exposer aux rayons X.

4 - La zone irradiée :

en utilisant des diaphragmes,des centreurs et des cônes localisateurs, ce qui diminue la surface de champ. Sa limite doit apparaître nette. On emploie également des grilles anti-diffusantes.

5 - Le rapport dose émergente sur dose incidente :

en filtrant le rayonnement pour éliminer les composantes molles. En plus du filtre de 0,5 mm légalement exigé, il serait souhaitable que les radiologues augmentent volontairement la filtration.

6 - La qualité des films et des écrans

Il faut utiliser des films ultra rapides qui sont beaucoup plus sensibles et des écrans renforcateurs. On ne doit pas surexposer les films. On peut également se servir de la tireuse électronique ou Logetron.

B - ACTION SUR LES FACTEURS CLINIQUES ET PSYCHOLOGIQUES

Il faut prendre des précautions non seulement chez les femmes enceintes mais aussi et peut être même surtout chez toutes les jeunes femmes en âge d'avoir des enfants, particulièrement si elles n'utilisent aucune contreception, car s'il

n'existe pas de certitude absolue sur la valeur des doses tératogènes et mutagènes pour le foetus, il y a toute de même un danger certain lié à l'exposition aux rayons X pendant la grossesse. On ne peut le nier et il faut faire tout son possible pour l'éviter.

1 - Chez toute femme en période d'activité génitale

On s'abstiendra de pratiquer tous les actes de radiologie abdomino-pelvienne (clichés osseux, ou viscéraux, ou artériographiques..) avant d'avoir ELIMINE FORMELLEMENT UNE GROSSESSE (interrogatoire, 1è partie du cycle, courbe thermique et même parfois réaction biologique ou immunologique de grossesse par précaution).

L'attitude la plus prudente est donc de ne pas radiographier une femme jeune dans la 2e partie du cycle menstruel, sauf cas d'extrême urgence où bien sûr, on peut radiographier quelle que soit la date du cycle; il ne faut, en effet, pas tomber dans l'excès inverse.

A cette réserve près, tous les examens de radiologie abdomino-pelvienne seront donc toujours pratiqués; auplus tard 10 à 12 jours après les dernières règles

Il devrait être obligatoire, du point de vue médico-légal, pour les médecins prescripteurs de préciser (ce qui est simple et demande fort peu de temps) sur leurs ordonnances de demandes de clichés radiologiques, en toutes lettres : "en première partie de cycle" ou bien "juste après les prochaines règles".

De la même manière, les radiologues devraient être tenus de demander à toutes les femmes jeunes qu'ils radiographient la DATE de leurs dernières règles normales, avant d'entreprendre tout cliché exposant la région abdomino-pelvienne.

Enfin, lorsque les examens n'exposent pas cette région, il conviendrait de protéger systématiquement l'abdomen des femmes par un tablier de plomb.

Ce sont donc, on le voit, des petites mesures fort simples , peu couteuses et qui, si elles étaient toujours appliquées, éviteraient d'avoir à résoudre des problèmes beaucoup plus graves.

2 - Chez les femmes enceintes

On s'abstiendra de tout examen radiologique systématique (à l'exception de la radiographie pulmonaire pratiquée à partir du 6e mois).

En début de grossesse, on proscrira tous les examens exposant la région pelvienne, sauf cas d'urgence, car on sait que dans cette période d'organogénèse majeure, même les plus faibles doses sont dangereuses pour l'embryon.

Les examens radiographiques nécessaires en particulier le radiodiagnostic obstétrical seront repoussés en fin de grossesse, et toujours dans le troisième trimestre, c'est à dire seulement à partir du 6e mois.

Le radiodiagnostic obstétrical ne sera jamais fait systématiquement. Ses indications doivent être rigoureusement posées par des cliniciens compétents. On supprimera les incidences qui irradient trop le foetus et ses gonades. En particulier, le cliché du Détroit supérieur ne doit pas être pratiqué selon la technique de Thoms, mais selon celle de Magnin en procubitus.

3 - Les facteurs psychologiques

La radiographie est un document et non une oeuvre d'art. Donc la personne qui va l'interpréter doit avoir constamment à l'esprit qu'elle ne cherche pas des qualités esthétiques, mais seulement des renseignements cliniques, et c'est déjà beaucoup. Le nombre de clichés, le temps de scopie et l'exposition seront ainsi limités au maximum, en pensant toujours au risque couru par le foetus.

En particulier, on sera très strict sur l'obtention d'une bonne image pour éviter d'avoir à recommencer plusieurs fois de suite le même cliché.

Et de toute façon, il faudra bien peser les indications et ne pas faire de la radiopelvimétrie un examen de routine.

4 - Perspective d'avenir : les substances radio-protectrices

Ce serait des substances qui injectées ou administrées à la mère avant l'examen radiologique, protégeraient totalement le foetus des effets de l'exposition aux rayons X.

Des expérimentations ont été faites dans ce domaine en 1960 par RUGH et GRUPP (22) sur la souris en utilisant la cystamine et la cysteamine qui étaient remarquablement efficaces, même à doses très élevées (200 rads).

Mais aucune tentative d'extrapolation à l'homme n'a ensuite été faite.

5 - Au total

On peut donc diminuer considérablement l'irradiation foetale en appliquant les règles suivantes :

- ne pas radiographier une femme en age de procréer dans la 2e partie du cycle menstruel c'est-à-dire plus de 14 jours après les dernières règles normales,

- proscrire tous les examens radiographiques de la région abdomino-pelvienne durant les deux premiers trimestres de la grossesse.

- limiter strictement les indications du radiodiagnostic obstétrical, qui devra être pratiqué le plus tard possible, et supprimer les incidences les plus dangereuses.

C - CAS DE LA FEMME ENCEINTE QUI A ETE RADIOGRAPHIEE

On peut être confronté avec le cas d'une femme reconnue enceinte et qui a été radiographiée à un moment quelconque de sa grossesse.

Comment peut-on évaluer le risque foetal ? quelles dispositions faut-il prendre ?

Nous avons vu que pour évaluer le risque foetal de l'exposition aux rayons X deux facteurs principaux entrent en jeu.

1 - La date de l'irradiation par rapport au début de la grossesse, éventuellement sa répétition.

2 - La dose de rayons X à laquelle l'embryon ou le foetus a été exposé, en tenant compte surtout des clichés qui provoquent une irradiation foetale totale.

En ce qui concerne la date de l'irradiation; nous avons déjà dit que la période la plus dangereuse, de très grande radiosensibilité, est la période d'ORGANOGENESE principale, située schématiquement de la 2e à la 8e semaine de gestation. On tiendra compte, le cas échéant, de la répétition des expositions.

Quant aux doses absorbées par le foetus, on les estimera à peu près d'après les mesures dosimétriques déjà citées, en tenant surtout compte :

- du grand nombre de clichés,
- de la durée de la scopie
- des incidences dangereuses pour les foetus et/ou ses gonades.

Au terme de ce bilan, on aura tenté de fixer un risque foetal approximatif en se rappelant que :

- dans l'embryogénèse très précoce : aucun SEUIL de dose ne peut être fixé, n'importe quelle irradiation sera toujours excessive (RUGH)(42).

- à l'inverse, en fin de grossesse : une dose de 1 rad est tolérable pour le foetus.

Rappelons à ce propos que la Commission Internationale de Protection contre les Radiations a estimé à 1 rad la dose maximale qu'un foetus peut recevoir durant toute sa vie intra-utérine (9).

En conséquence l'attitude à adopter sera fonction de ce bilan, mais aussi des opinions personnelles de chaque médecin.

Celles-ci divergent souvent, comme en témoignent les suivantes :

- Pour LEFEBVRE (26) : si le foetus reçoit une dose inférieure à 25 rads "il semble logique de laisser la grossesse suivre son cours". C'est seulement à partir de 100 rads que l'avortement thérapeutique sera pratiqué.

Par contre, les auteurs Danois (9) conseillent l'avortement si le foetus reçoit entre 1 et 10 rads. Ils l'imposent si la dose foetale dépasse 10 rads.

Ce point de vue est largement partagé par les auteurs Anglo-Saxons (3) qui estiment à 10 rads la dose certainement nuisible pour le foetus.

Quant à nous, il nous semble que déjà à partir de 5 rads les risques peuvent exister, ce d'autant que la grossesse est plus jeune.

De toute façon, ce sont des problèmes de conscience qui se posent pour chaque gynécologue obstétricien.

oOo

CONCLUSION

A l'occasion de plusieurs demandes d'interruption de grossesse, faites à la Maternité de Lariboisière par des femmes radiographiées au tout début de leur gestation, et pour savoir si ces demandes étaient licites, nous avons tenté d'évaluer les risques auxquels le foetus est exposé lors du radiodiagnostic.

Après avoir rappelé comment varient les doses de rayons X absorbées dans l'organisme; nous avons évoqué toutes les causes d'irradiation et de radiocontamination au cours de la grossesse, parmi lesquelles les sources d'irradiation environnante exposent obligatoirement chaque individu à une dose de 0,1 à 0,15 rad par ans, soit 5 rads par génération.

Nous avons ensuite, grâce à une revue de la littérature,exposé les résultats de l'expérimentation animale, puis énuméré les effets embryo-foetaux humains des rayons X :

- leur risque immédiat tératogène, malformatif ou léthal,
- leurs risques tardifs d'induction de leucoses et cancers, et de mutations génétiques;

Cette étude nous a permis de distinguer deux facteurs importants de variation des effets :

- la période de la grossesse au moment de l'irradiation,
- les doses de rayons X reçues par le foetus,

Cela nous a permis de conclure à la très grande radiosensibilité de l'embryon pendant l'organogénèse principale, et au rapport linéaire hautement significatif entre les doses et les effets.

En ce qui concerne l'embryogénèse très précoce, il est impossible de fixer un seuil : même une dose de 1 rad est excessive.

Voici les résultats de l'étude des doses reçues par le foetus au cours du radiodiagnostic :

- lorsqu'il n'est pas dans le champ d'irradiation : les doses varient entre :

0,001 et 0,004 rad par cliché radiographique

0,01 et 0,04 rad par minute de radioscopie

Ces doses peuvent être considérées comme négligeables.

- lorsque le foetus est dans le champ d'irradiation et pour des examens radiologiques non obstétricaux :

Les doses foetales varient entre :

0,05 et 0,4 rad par cliché radiographique

1 et 4 rads par minute de radioscopie

Les doses peuvent ainsi atteindre 3,2 rads pour des examens de huit clichés (Urographie intraveineuse, lavement baryté,estomac...) et ne sont donc plus du tout négligeables, surtout en début de grossesse.

- au cours du radiodiagnostic obstétrical :

1) - les contenus utérins irradient peu le foetus, la dose maximale retrouvée est : 0,25 rad.

2) - la placentographie ne délivre jamais au foetus plus d'1 rad, toutefois les techniques de localisation radio-isotopique l'exposent vingt fois moins,

3) - pour la radiopelvimétrie, les résultats sont très variables, mais en général, les doses appliquées au foetus et à ses gonades ne dépassent pas 1 rad par cliché, sauf en ce qui concerne l'incidence latérale et celle de Thoms, qui expose surtout les gonades foetales, avec des doses moyennes de 3 rads et extrêmes de 4,6 rads.

Nous avons ensuite décrit l'ensemble des mesures à prendre. Nous pensons que le fait de radiographier une femme en âge de procréer dans la deuxième partie de son cycle mentruel devrait être considéré comme une faute professionnelle.

Pour les femmes enceintes, il faut prescrire toutes les incidences abdomino-pelviennes durant les deux premiers trimestres de grossesse, sauf en cas d'urgence médicale ou chirurgicale.

En ce qui concerne le radiodiagnostic obstétrical, il faut réduire au maximul le nombre de clichés et récuser l'incidence de Thoms, qui expose trop les gonades foetales.

Il ne faudra jamais oublier qu'un foetus radiographié in utero a déjà à la naissance un handicap certain par rapport aux autres nouveau-nés.Pour ces enfants-là une mention spéciale dans le cernet de santé attirerait l'attention des pédiatres et permettrait de limiter par la suite les explorations radiologiques, surtout faites à titre systématique.

Une perspective d'avenir se trouve peut-être dans la recherche et l'utilisation de substances radioprotectrices.

Pour conclure nous avons évoqué le difficile problème des femmes enceintes radiographiées en début de grossesse. Le médecin qui s'y trouve confronté, doit établir un bilan tenant compte de la date d'irradiation et de la dose de rayons X reçue; au terme duquel, il tentera de fixer approximativement un risque foetal.

Dans l'état actuel des connaissances, et bien que les opinions soient différentes sur ce sujet, nous pouvons dire qu'en début de grossesse, aucun seuil ne peut être fixé à l'action nocive des rayons X.

A partir de la dixième semaine de gestation et jusqu'au terme, il existe des risques probables pour une dose foetale d'environ 5 rads, ces risques deviennent certains dès que l'on atteint et dépasse 10 rads. Pour de telles irradiations foetales, chacun jugera selon sa conscience, mais il ne semble pas raisonnable de laisser la grossesse poursuivre son évolution.

oOo

Vu, le Président de Thèse :

Professeur MORIN

Vu, le Doyen de la Faculté :

Professeur CASTAIGNE

Vu et Permis d'Imprimer :

le Président de l'Université - Paris VI

Professeur HERPIN

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1 - ANDRISKA J., FRIGYESI G., KISZELY G. et NAGY M. -

Die Wirkung einer grosser Dosis Röntgenstrahlen auf die Entwicklung eines menschlichen Foetus.
Strahlentherapie 1958, 105, n° 4, p. 630-638.

2 - APGAR, GAUSE. -

Teratology.
Medical World News. 1970, 11, n° 59.

3 - BABSON S. et BENSON R. -

Pratique du haut-risque obstétrical et néo-natal.
Masson Paris 1974, chapitre III, p. 36-37.

4 - BASIC M. et WEBER D. -

Über intra-uterine. Fruchtschädigung durch Röntgenstrahlen.
Strahlentherapie 1956, 99, n° 4, p. 628-634.

5- BELLEFEUILLE P. (De). -

A propos du rapport de la dose d'un rayonnement ionisant à son effet tératogène.
Union Méd. Canada, avril 1962, 91, n° 4, p. 407-411.

6 - BEWLEY D., LAWS J. et MYDDLETON C. -

Maternal and foetal radiation dosage during obstetric radiographic examinations.
Brit. J. Radiol., 1957, n° 30, p. 286-290.

7 - BEWLEY D., LAWS J. et MAGNIN P. -

L'irradiation foetale et maternelle au cours des examens de radio-diagnostic obstétrical. Etude comparative des doses reçues suivant les différentes techniques de radio-pelvimétrie.
Gynéco-Obst., nov-déc. 1960, 59, n° 5, p. 529-537.

8 - BLANCHE A. -

Le radio-diagnostic en obstétrique.
E.M.C. Radio-diagnostic App. génital tome 2, 34.700 A_{10}, p. 1-18.

9 - BLERY M. et BOURDON R. -

Effets des radiations ionisantes sur le foetus.
Gaz Méd. France, mars 1968, 75, n° 8, p. 1.673-1.678.

10 - BROWN M. -

X-ray experience during pregnancy.
J.A.M.A., janvier 1967, 199, n° 1, p. 309-314.

11 - BUCHHEIM C. -

Tolérance foetale aux rayons X. Rapport d'un cas = naissance d'un enfant après exposition aux rayons X in utéro au cours des trois premiers mois d'une grossesse méconnue.
Radiol. Clin. Biol. (Basel), 1971, 40, n° 1, p. 22-28.

12 - CASTEELS - VAN DAELE M., CASAER P. et MOULAERT A. -

Irradiation radio-diagnostique in utéro = risques pour le foetus.
Arch. franç. Péd., novembre 1967, 24, N° 9, p. 1.083.

13 - COURAY J. -

Des dangers de l'examen radiologique chez la femme enceinte.
Concours Méd., avril 1956, 78, n° 15, p. 1.699-1.701.

14 - COVINGTON E. et BAKER A. -

Dosimetry of scattered radiation to the fetus.
J.A.M.A., juillet 1969, 209, n° 3, p. 414 - 415.

15 - DAVID G. et HAEGEL P. -

Embryologie - Travaux Pratiques C.P.E.M.
Masson - Paris 1965, tome 1, p. 96.

16 - DOCUMENTA GEIGY. -

Dosimétrie des rayonnements ionisants.
Tables scientifiques.,
Geigy 1972, 7e Edition, p. 223-227.

17 - DUVAL C., NOUEL J. -

Méthodes actuelles de localisation du placenta.
Rev. du Praticien, mars 1972, t. XXII, n° 7, p. 1.045-1.058.

18 - GIROND J. -

Risques pour l'embryon, le foetus et l'enfant de la radiologie médicale.
Semaine Méd. (Suppl. Semaine Hôp. Paris), juin 1965, 41, n° 11,
p. 207-210.

19 - GROS C., WEILL F. et BURGY P. -

Doses de rayons X délivrées à la mère et au foetus par les examens radio-obstétricaux.
Bull. Féd. Soc. Gyn. Obst., novembre - décembre 1960, 12, n° 5,
p. 617-624.

20 - HARRISON T. -

Lésions dues aux radiations.
Principes de médecine interne.
Flammarion. Tours 1972, Tome I, Chapitre 129, p. 710-716.

21 - HELLER M., TERDIMAN J. et PASTERNACK B. -

A procedure for calculation the gonadal X-ray dose in diagnostic radiography.
Brit. J. Radiol., sept. 1966, 39, n° 465, p. 686-691.

22 - HULSE E. -

The effects of ionising radiation on the embryo and fetus = a review of experimental data.
Clin. Radiology, octobre 1964, 15, n° 4, p. 312-319.

23 - KINLEN L. et ACHESON D. -

Diagnostic irradiation, congenital malformations and spontaneous abortion.
Brit. J. Radiol. septembre 1968, 41, n° 489, p. 648-654.

24 - KITCHEN W. -

Radiation hazards to the foetus from X-ray pelvimetry.
Med. J. Australia, janvier 1961, 1, n° 4, p. 116-117.

25 - LANGENDORFF H. -

Die Wirkung kleiner Strahlen dosen und Dosisleistungen auf die, Embryonalentwicklung Von Säugetieren.
Strahlentherapie, août 1969, 138, n° 2, p. 181-185.

26 - LEFEBVRE J. -

Action des radiations ionisantes sur le foetus (point de vue du radiologiste).
Ann. Péd. (suppl. Sem. Hôp. Paris), août-sept. 1961, 37, n° 50/51/8-9, 2.474/p. 362 - 2.476/p. 364.

27 - LEFEBVRE J. -

Les foetopathies liées aux radiations.
Union Méd. Canada, mars 1968, 97, n° 3, p. 299-301.

28 - LEJEUNE J., TURPIN R., RETHORE M. et MAYER M. -

Résultats d'une première enquête sur les effets somatiques de l'irradiation foeto-embryonnaire in utéro.
Revue Franç. Et. Clin. Biol., 1960, 5, n° 10, p. 982-989.

29 - LEONARD A. -

Effets des radiations sur l'homme - III - Les conséquences d'une irradiation pré-natale.
J. Belge de Radiol. 1968, 51, p. 152-156.

30 - MACHT S., et LAWRENCE P. -

Congenital malformations resulting from exposure to Roentgen Radiation.
Am. J. Roentgenol, mars 1955, 73, n° 3, p. 442-466.

31 - MAGNIN P. -

A propos du danger des radiographies abdominales chez la femme enceinte. Comment réduire les risques d'irradiation du foetus au cours des radio-pelvimétries ?
Presse Méd., février 1959, 67, n° 7, p. 254-256.

32 - MAGNIN P. et NAUDIN E. -

Les risques embryo-foetaux du radio-diagnostic obstétrical.
Méd. et Hyg., mai 1963, 21, n° 597, p. 497-498.

33 - MAGNIN P. et PELISSIER B. -

Le radio-diagnostic en obstétrique.
Rev. du Prat., octobre 1968, XVIII, n° 27, p. 3.863-3.878.

34 - MAYER M. -

Au sujet des effets embryo-foetaux des actes de radiologie obstétricale.
Sem. Hôp. Paris, novembre 1959, n° 53, p. 3.109-3.114.

35 - MAYER M. -

Les problèmes posés par les effets embryo-foetaux éventuels des explorations radiologiques au cours de la grossesse.
J. de Méd. 1960, t. CXXXI, 16e Cahier, p. 731 - 742.

36 - MERGER R., LEVY J. et MELCHIOR J. -

Radiations et grossesse.
Précis d'Obst. Masson Paris 1973, 2e partie B, p. 479-480.

37 - NORA J., NORA A., SOMMERVILLE R., HILL R., et MAC NAMARA D. -

Maternal exposure to potential teratogens.
J.A.M.A., décembre 1967, 202, n° 12, p. 1.065-1.069.

38 - PAPE R. et ZAKOVSKY J. -

Uber die Strahlenbelastung der Schwangeren und der Frucht bei Rontgenuntersuchungen.
Wien. Méd. Wschr., janvier 1964, 114, n° 1, p. 24-27.

39 - PIZON P. -

Scintigraphie du placenta par le technetium.
Presse Méd., décembre 1967, n° 53, p. 2.729.

40 - POLYCOPIE DE PHYSIQUE DES FACULTES DE MEDECINE DE PARIS. -

Radiations - Radiobiologie.
1re partie ch.V p. 51, ch. VI, p. 77 ; 2e partie ch. VII p. 83, ch. VIII p. 121, ch. IX p. 139.

41 - ROLAND M., HILLS F. et WEINBERG A. -

Radiation effects on the unborn embryo immediately after conception.
Am. J. Obst. Gyn., novembre 1951, 62, n° 5, p. 1.167-1.169.

42 - RUGH R. -

Low levels of X-irradiation and the early mammalian embryo.
Am. J. Roentgenol, mars 1962, 87, n° 3, p. 559-566.

43 - RUSSEL L., BADGETT S. et SAYLOR C. -

Immediate and low level effects of ionising radiations.
Edit. A.A. Bussati. Traverso London 1960 - S. 343.

44 - SCHUBERT J. -

Die Wirkung kleinen Strahlendosen auf menschlichen. Foetus.
Deutsche. Med. Wschr. février 1960, n° 6, p. 213-217.

45 - SEYSS R. -

Pour une diminution de la dose d'irradiation dans les clichés pris au cours de la grossesse.
Zbl. Gyn. décembre 1958, 80, n° 50, p. 1.975 - 1.978.

46 - SIKOV M. et LOFSTROM J. -

Influence of Energy and dose Rate on the responses of Rat embryos to Radiation.
Radiology, août 1962, 79, n° 2, p. 302-309.

47 - STERNBERG J. -

Irradiation and Radiocontamination during Pregnancy.
Am. J. Obst. Gyn. octobre 1970, 108, n° 3, p. 490-513.

48 - STEWART A., WEBB J., GILES D. et HEWITT D. -

Malignant disease in childhood and diagnostic Irradiation in utero.
Lancet 1956, n° 2, p. 447.

49 - STEWART A. et KNEALE G. -

Radiation dose effects in relation to obstetric X-Rays and childhood cancers.
Lancet, juin 1970, n° 7.658, p. 1.185-1.188.

50 - TRAUTMANN J., KRAFT C., HOFFMANN B. et EGNER D. -

Strahlenschaden auf dem Foetus in Utero.
Med. Klin., mai 1961, 56, n° 20, p. 861-868.

51 - TUBIANA M., MAYER M., LEJEUNE J., GROUCHY J. (De), et RETHORE O. -

Données actuelles sur les risques pour l'embryon, le foetus et l'enfant de la radiologie médicale. Exposé des mesures déjà prises en vue de prévenir ceux-ci. Suggestion sur les mesures à prendre.
Pédiatrie, 1963, 50, n° 4, p. 463-470.

52 - WEILL F., GROS C., BONNEVILLE F. et HANNS A. -

L'irradiation en radio-diagnostic obstétrical. Evolution de 1959 à 1967.
J. Radiol. Electrol., novembre 1968, 49, n° 11, p. 860-861.

53 - YAMAZAKI J. -

A review of the literature on the radiation dosage required to cause manifest central nervous system disturbances from in utero and post-natal exposure.
Pediatrics, mai 1966, 37, n° 5, p. 877-903.

54 - MALINAS Y. -

Le praticien et la grossesse. Que faire si ..., que dire si...
Supplément au Concours Med. 8 mars 1975, n° 10, V, p. 211.

oOo

TABLE DES MATIERES

I - Introduction : 4

II - Historique : 6

III - Notions de biophysique des rayons X 9

- Principes généraux de dosimétrie 11

- Facteurs influant sur la dose reçue 13

IV - Notions de radiobiologie 17

V - Irradiation et radiocontamination pendant la grossesse.. 21

VI - Effets embryo-foetaux des rayons X 26

- Expérimentation animale 26
- Effets embryo-foetaux humains 32

VII - Doses de rayons X reçues par le foetus au cours du radiodiagnostic 44

- Lors des examens radiographiques non obstétricaux 45

- Lors du radiodiagnostic obstétrical 52

. radiographie foetale 53

. radiographie placentaire 55

. radiopelvimétrie 59

VIII - Mesures à prendre pour diminuer l'irradiation foetale .. 67

IX - Conclusion 74

BIBLIOGRAPHIE

TABLE DES MATIERES

I - Introduction : 4

II - Historique : 8

III - Notions de biophysique des rayons X 8

- Principes généraux de dosimétrie 11

- Facteurs influant sur la dose reçue 13

IV - Notions de radiobiologie 17

V - Irradiation et radiocontamination pendant la grossesse.. 24

VI - Effets embryo-fœtaux des rayons X 26

- Expérimentation animale 26

- Effets embryo-fœtaux humains 32

VII - Doses de rayons X reçues par le fœtus ou pour le radio-diagnostic 44

- Lors des examens radiothérapiques non obstétricaux 45

- Lors du radiodiagnostic obstétrical 52

. radiographie fœtale 53

. radiographie placentaire 55

. radiopelvimétrie 59

VIII - Mesures à prendre pour diminuer l'irradiation fœtale .. 67

IX - Conclusion 74

BIBLIOGRAPHIE